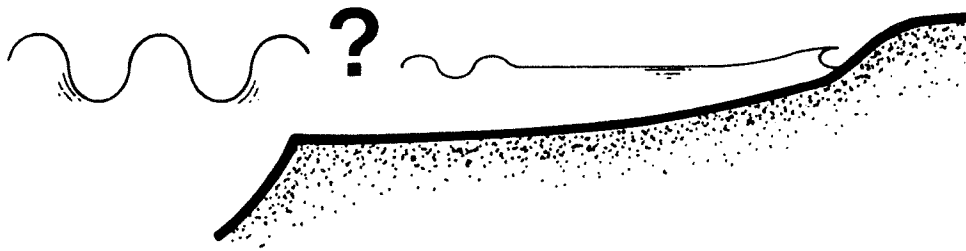


Golfdempende constructies

M. van der Linden



Golfdempende constructies

Samenstelling van de projectgroep die het onderzoek
uitvoerde cq. begeleidde:

Deltadienst - Rijkswaterstaat:

ir. E.C. Bouwmeester
ing. J. Griep
ing. P.F. Lindenberg
ing. J.G.A. van Marle
ir. K.W. Pilarczyk

Technische Hogeschool Delft, Vakgroep Waterbouwkunde:

ir. J.J. van Dijk
ir. M. van der Linden
ir. J. Stuip

Uitgegeven door:

Delftse Universitaire Pers,
Stevinweg 1,
2628 CN Delft
telefoon: 015 - 783254

In opdracht van:

Technische Hogeschool Delft
Afdeling der Civiele Techniek
Vakgroep Waterbouwkunde
Postbus 5048, 2600 GA Delft
telefoon: 015 - 783345

en

Rijkswaterstaat
Dienst Getijdewateren, Afdeling Watersystemen
Onderafdeling Kust en Oever
Postbus 439, 4330 AK Middelburg
telefoon: 01180 - 11851

CIP-gegevens Koninklijke Bibliotheek, Den Haag

Linden, M. van der

Golfdempende constructies / M. van der Linden. - Delft :
Delftse Universitaire Pers. - III
Uitg. in opdracht van de Technische Hogeschool Delft,
Afdeling der Civiele Techniek, Vakgroep Waterbouwkunde
en Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren, Afdeling
Watersystemen, Onderafdeling Kust en Oever. - Met lit. opg.

ISBN 90-6275-263-2

SISO 699.2 UDC 627.235

Trefw. : golfdempende constructies.

Copyright © by Technische Hogeschool Delft,
Vakgroep Waterbouwkunde

No part of this book may be reproduced in any form by print,
photoprint, microfilm or any other means without written permission
from the publisher; Delft University Press, The Netherlands.

GOLFDEMPENDE CONSTRUCTIES

- I : Methodische beschrijving van de werking;
aanbevelingen voor toe te passen constructies
- II : Evaluatie van drijvende golfdempende constructies
in het Grevelingenmeer
- III : Literatuuronderzoek

INHOUD I: Methodische beschrijving van de werking;
 aanbevelingen voor toe te passen constructies

VOORWOORD

METHODISCHE BESCHRIJVING VAN DE WERKING		blad
1.	INLEIDING	1
2.	GOLFDEMPING	4
2.1.	Energieverdeling in golven	4
2.2.	Beoordeling golfdempende werking	4
2.3.	Golfdempingsmechanismen	5
3.	GOLFDEMPENDE CONSTRUCTIES	8
3.1.	Inleiding	8
3.2.	Reflecterende constructies - horizontale reflectie	8
3.3.	Reflecterende constructies - verticale reflectie	13
3.4.	Dissiperende constructies	15
3.5.	Absorberende constructies	19
3.6.	Interferentie constructie	19
3.7.	Scheef inkomende golven	20
3.8.	Golfkrachten	23
3.9.	Verankeringswijzen	25
4.	VERGELIJKING VAN EEN AANTAL GOLFDEMPENDE CONSTRUCTIES	28
4.1.	Inleiding	28
4.2.	Randvoorwaarden	28
4.3.	Vergelijking van dempingsmechanismen	29
4.4.	Veelbelovende constructies	38
4.4.1.	Inleiding	38
4.4.2.	Afmetingen	38
4.4.3.	Kostenaspecten	46
5.	GOLFDEMPENDE CONSTRUCTIES IN GETIJGEBIEDEN	48
5.1.	Inleiding	48
5.2.	Randvoorwaarden voor golfdempende constructies in de Oosterschelde	48
5.3.	Toepasbare golfdempende constructies	49
5.4.	Verankering	57
5.5.	Conclusies	59

INHOUD (vervolg)

	blad
6. STORTSTEEN/GRINDDAM	60
6.1. Inleiding	60
6.2. Golfdempende werking	60

Lijst van symbolen

Bijlage I Golfdempende constructies: afmetingen, kosten	64 - 91
Bijlage II Watson golfdempende constructie	92 - 96

INHOUD II:	<u>Evaluatie van drijvende golfdempende constructies</u> <u>in het Grevelingenmeer</u>	blad
1.	INLEIDING	97
2.	NADERE BESCHRIJVING VAN DE DRIJVENDE CONSTRUCTIES	99
3.	EVALUATIE VAN DE GOLFDEMPENDE WERKING VAN DE DRIJVENDE CONSTRUCTIES	103
3.1	Inleiding	103
3.2	Omgevingscondities	103
3.3	Benodigde demping	103
3.4	Theoretisch golfdempende werking	107
3.4.1	Kunststof drijvers	107
3.4.2	Houten drijfschotten	107
3.5	Gemeten golfdempende werking	109
3.5.1	Kunststof drijvers	109
3.5.2	Houten drijfschotten	111
3.6	Vergelijking benodigde, theoretische en gemeten golfdempende werking	116
3.6.1	Kunststof drijvers	116
3.6.2	Houten drijfschotten	118
4.	EVALUATIE VAN DE VERANKERING VAN DE CONSTRUCTIES	121
4.1	Inleiding	121
4.2	Kunststof drijvers	121
4.3	Houten drijfschotten	123
4.4	Aan te brengen verbeteringen	123
5.	INVLOED VAN DE CONSTRUCTIES OP DE BODEM	126
6.	CONCLUSIES	128
	Lijst van symbolen	130
Bijlage I	Meetresultaten golfmeetpaal GM1	133
Bijlage II	Meetresultaten golfmeetpaal GM2	138

1.	INLEIDING	144
2.	GOLFDEMPING	145
2.1.	Energieverdeling in golven	145
2.2.	Karakteristieken van golfdempende constructies	147
2.3.	Golfdempingsmechanismen	147
2.4.	Categorieën golfdempende constructies	150
3.	INTERACTIE TUSSEN OBJECTEN EN GOLVEN	
3.1.	Inleiding	153
3.2.	Vaste verticale of schuine platen	155
3.3.	Horizontale cilinders	162
3.4.	Rechthoekige objecten	169
3.5.	Brede horizontale platen	194
3.6.	Objecten op de bodem	201
3.7.	Invloed van massa op de golfdemping	210
3.8.	Verankeringskracht	211
4.	GOLFDEMPENDE CONSTRUCTIES	
4.1.	Inleiding	215
4.2.	Groepsindeling golfdempende constructies	215
4.3.	Vaste constructies	217
4.3.1.	Verticale wanden	217
4.3.2.	Bodemconstructies	218
4.3.3.	Wanden met horizontale spleten	218
4.3.4.	Palenrijen	222
4.3.5.	Vergelijking van een aantal verticale constructies	230
4.4.	Drijvende prismatische constructies	232
4.5.	Vlotten	233
4.6.	Catamarans	238
4.7.	A-frames	238
4.8.	Drijvende flexibele constructies	244
4.8.1.	Drijvende, met water gevulde zakken	244
4.8.2.	Drijvende matten	244
4.8.3.	Drijvende autobanden	251
4.9.	Verankerde boeien	257

4.10.	Diverse golfdempende constructies	259
4.10.1.	Luchtbellen- en waterstraalschermen	259
4.10.2.	Hydrofoils (draagvleugels)	261
4.10.3.	Parabolische vlotten	262
4.10.4.	Hellende drijvende platen	264
4.10.5.	Resonantieconstructies	269
4.11.	Invloed van de golfinvalshoek	271
4.12.	Onregelmatige golven	277
4.13.	Krachten tengevolge van golven	282
4.13.1.	Inleiding	282
4.13.2.	Golfkrachten op vaste constructies	283
4.13.3.	Golfkrachten op drijvende constructies	289
5.	HYDRAULISCHE EN MORFOLOGISCHE VERANDERINGEN T.G.V. GOLFDEMPENDE CONSTRUCTIES	
5.1.	Inleiding	297
5.2.	Door golven veroorzaakte profielveranderingen	297
5.2.2.	Evenwichtspeofielen	297
5.3.	Invloed van golfdempende constructies	301
	Lijst van symbolen	304
	Literatuurlijst	305

Voorwoord

Het voorliggende rapport is het resultaat van een literatuurstudie betreffende drijvende golfreducerende constructies. Het onderzoek beperkt zich tot constructies die met name in ondiep water toegepast zouden kunnen worden.

Dit in verband met een mogelijke toepassing voor bescherming van randen van zandplaten in afgesloten zeegaten zoals de Grevelingen of in gebieden met een gereduceerde getijde werking zoals de Oosterschelde.

Het blijkt dat voor een aanzienlijke golfreductie de verankerde drijvende constructies grote afmetingen moeten hebben ten opzichte van die met een zeer stijve verankering (bijv. palen) of die opgebouwd zijn uit stortsteen of monolitische constructies.

De krachten in de verankering zijn moeilijk te berekenen gezien enerzijds het stochastische karakter van de golfbeweging zowel wat betreft periode, hoogte, groepsvorming als voortplantingsrichting en anderzijds het complexe niet lineaire gedrag van het massademper-veer systeem van de drijvende constructie.

Voor de berekening van de sterkte van de constructie tijdens de zgn. overlevings condities zal daarom zonder nader uitgebreid onderzoek voor een specifieke constructie rekening moeten worden gehouden met hoge veiligheidscoëfficiënten.

Deze onzekerheid zal in het algemeen kostenverhogend werken ten opzichte van constructies waarvan het gedrag beter te voorspellen is. Bovendien is te verwachten dat frequenter voorkomende omstandigheden dan overlevings condities grote slijtage en vermoeiing van bewegende delen in een doorgaans agressieve omgeving (zout water) zullen veroorzaken.

Voor een afschatting van het golfdempend effect van een drijvende constructie lijkt het aanbevelenswaardig niet te rekenen op een significante bijdrage van het verankeringsysteem, opdat de krachten in het systeem gering blijven. Rekent men wél op een bijdrage dan zal de sterkte van het systeem groter moeten zijn. Tengevolge van de onzekerheden bij de berekening van de belastingen zullen hoge veiligheidscoëfficiënten worden toegepast. Maar dan bestaat de kans dat het verankeringsysteem stijver wordt, waardoor meer belasting wordt aangetrokken dan in eerste instantie verwacht werd.

Op deze manier wordt dus de onzekerheid omtrent het gedrag van het systeem onder de werkelijke omstandigheden vergroot.

Voor toepassing in gebieden met een (gereduceerd) getij moeten de drijvende constructies een grote verticale bewegingsvrijheid hebben vanwege de verticale getijverschillen maar ook bewegingen ten gevolge van de belasting door eb- en vloedstroom zal in horizontale zin een grote ruimte vergen.

Deze ruimte voor beweging, hoewel van een andere orde dan die ten gevolge van de golfbelasting, is in tegenspraak met de eis die gesteld wordt door de gewenste golfcaluctie.

Samenvattend kan gesteld worden dat in het algemeen drijvende constructies ten behoeve van golfdemping op ontlap water minder aantrekkelijk lijken gezien de onzekerheden wat betreft hun duurzaam functioneren en het relatief hoge kostenniveau.

Prof.dr.ir. E.W. Bijker

GOLFDEMPENDE CONSTRUCTIES

Deel I

Methodische beschrijving van de werking

1. INLEIDING

De uitvoering van de Deltawerken heeft tot gevolg dat een aantal van de zeearmen in Zuid-West Nederland voorgoed het getij zijn of worden afgesloten (Haringvliet-Hollandsch Diep, Veerse Meer, Grevelingenmeer, Krammer-Volkerak, Zoommeer en het Markiezaat van Bergen op Zoom). Op deze bekkens is of wordt een min of meer stagnant peil ingesteld waardoor de voormalige estuaria zijn omgevormd tot Deltameren. Door de instelling van een stagnant peil valt een deel van de voormalige platen, slikken en schorren permanent droog.

Op de Oosterschelde kan door de bouw van de stormvloedkering het getijde milieu grotendeels worden gehandhaafd. Wel wordt het huidige getijverschil enigszins gereduceerd.

Door de hydraulische veranderingen treden wijzigingen op in de geomorfologie van deze bekkens. Voor de stagnante meren kenmerkt deze morfologische verandering zich door een vervlakking van de bodem. Op de oeverlijn van de drooggevalle gebieden komt dit tot uiting in een proces van nagenoeg uitsluitend erosie. Ook voor de platen en slikken in de Oosterschelde wordt een versterkte erosie verwacht. Gezien de aan de betreffende gebieden toegekende functies (veelal natuurgebieden) wordt deze achteruitschrijding van de oever niet toelaatbaar geacht. In het verleden zijn daarom op grote schaal oeverbeschermingen aangebracht in het Veerse Meer, Grevelingenmeer en Haringvliet-Hollandsch Diep. Ook in de toekomst zullen nog grote lengtes oever van een oeverbescherming moeten worden voorzien.

Aanvankelijk werden de oevers van de platen beschermd door het aanbrengen van een bestorting op de oeverlijn. Door het aanleggen van deze directe oeverbeschermingen verliest de oever een groot deel van de natuurlijke waarden welke een oeverzone kan hebben. Daarom is men later overgestapt op een systeem van voor-oeververdedigingen. Deze voor-oeververdedigingen worden gevormd door stenen dammen welke op een afstand (ca.40-200m) uit de oeverlijn liggen. De kruinshoogte van deze dammen is zodanig dat achter de dammen een zone met rustig ondiep water wordt gecreëerd. De natuurwaarde van de oeverzone blijft aldus gehandhaafd.

Als nadelen van deze voor-oeververdedigingen geldt dat zij de wateruitwisseling tussen de ondiepe voor-oever en het diepere water belemmeren, dat zij een barrière vormen voor migrerende waterorganismen en dat zij een harde grens vormen in de morfologie van de oeverzone.

Door Rijkswaterstaat, Deltadienst, hoofdafdeling Milieu en Inrichting, wordt onderzoek verricht naar morfologische en biologische processen die zich in de oeverzones van de Deltabekkens voltrekken en naar de invloed hierop die uitgaat van diverse typen oeverbescherming. Een onderdeel van dit onderzoek betreft de mogelijkheden voor toepassing van de drijvende constructies als golfreductor en als zodanig tevens als oeverbescherming. Hiertoe is in het Grevelingenmeer een prototype-experiment uitgevoerd met een drijvende constructie. Voor en achter de constructie zijn onder andere golven gemeten. Het doel van dit experiment was het bepalen van de golfdempende werking van dergelijke constructies en het nagaan van de mogelijkheden voor toepassing als oeverbescherming.

In opdracht van Rijkswaterstaat is door de TH-Delft een studie uitgevoerd naar golfdempende constructies. In grote lijnen omvat deze opdracht :

- Het uitvoeren van een methodische beschrijving van de golfdempende werking op basis van een literatuuronderzoek naar golfdempende constructies
- Het evalueren van een tweetal golfdempende constructies in het Grevelingenmeer
- Het genereren, uitwerken en dimensioneren van andere (betere) vormen van golfdempende constructies met als randvoorwaarden :
 - a. maximale golfdemping bij minimale constructieafmetingen
 - b. maximale uitwisselingsmogelijkheid van water voor en achter de constructie
 - c. minimale kosten
 - d. toepassing op stagnante bekkens (zoals bijvoorbeeld het Grevelingenmeer).

Tijdens het onderzoek is de opdracht uitgebreid in die zin dat eveneens aandacht diende te worden besteed aan de toepassing van dergelijke constructies onder getijomstandigheden (zoals bijvoorbeeld de Oosterschelde).

Het onderhavige rapport is de uitwerking van deze aan de TH verstrekte opdracht. Ten behoeve van de overzichtelijkheid is de rapportage gesplitst in een drietal deelrapporten.

Deelrapport 1 gaat in op de theoretische achtergronden van golfdempende constructies en doet aanbevelingen voor toepassingen in stagnante- en getijdebekkens.

Deelrapport 2 behandelt de case-studie "drijvende constructies in het Grevelingenmeer".

Deelrapport 3 is het verslag van de terzake uitgevoerde literatuurstudie.

2. GOLFDEMPING

2.1. Energieverdeling in golven

De verdeling van de golfenergie over de waterdiepte is afhankelijk van de verhouding waterdiepte/golflengte (h/L). In diep water ($h/L > 0,5$) is de kinetische energie bij het wateroppervlak geconcentreerd. In ondiep water ($h/L < 0,05$) is de energie gelijkmatig over de diepte verdeeld (zie figuur 2.1.1).

Deze verdeling houdt in dat in diep water een golfdempende constructie het beste in de buurt van het wateroppervlak kan worden gesitueerd, omdat daar de meeste energie te onderscheppen is. In ondiep water is, door de gelijkmatige energieverdeling, de plaats van een golfdempende constructie minder belangrijk.

In de praktijk kunnen zich op één lokatie, door variërende golflengten of waterstanden, zowel ondiep- als diep water omstandigheden voordoen. Om in alle omstandigheden golven goed te dempen voldoet dan een constructie nabij het wateroppervlak het beste.

2.2. Beoordeling golfdempende werking

De meest gebruikte criteria bij de beoordeling van de golfdempende werking van een constructie zijn de transmissiecoëfficiënt

C_T en de reflectiecoëfficiënt C_R .

Deze worden gedefinieerd als :

$$C_T = \sqrt{P_T / P_I} \quad \text{en} \quad C_R = \sqrt{P_R / P_I}$$

met: P_I = vermogen van de inkomende golven

P_T = vermogen van de doorgelaten (=getransmitteerde) golven

P_R = vermogen van de gereflecteerde golven

Voor de regelmatige golven geldt :

$$C_T = H_T / H_I \quad \text{en} \quad C_R = H_R / H_I$$

met : H_I = hoogte van de inkomende golven

H_T = hoogte van de doorgelaten golven

H_R = hoogte van de gereflecteerde golven

Voor onregelmatige golven kan gebruik worden gemaakt van de vermogensdichtheidsspectra van de inkomende, de getransmitteerde en de gereflecteerde golven (resp. $S_I(f)$, $S_T(f)$ en $S_R(f)$; met f = frequentie van de inkomende golven) :

$$C_T(f) = \sqrt{S_T(f) / S_I(f)} \text{ en}$$

$$C_R(f) = \sqrt{S_R(f) / S_I(f)}$$

C_T en C_R zijn in dit geval overdrachtsfuncties. Op deze manier kan voor iedere golfrequentie de transmissie worden bepaald.

Ter vereenvoudiging wordt vaak met de (uit het spectrum te berekenen) significante golfhoogte gewerkt:

$$C_T = (H_T)_{1/3} / (H_I)_{1/3} \text{ en}$$

$$C_R = (H_R)_{1/3} / (H_I)_{1/3}$$

Als in een golfdempingsproces geen energie verloren gaat, is een direct verband te leggen tussen de transmissiecoëfficiënt en de reflectiecoëfficiënt. Dan geldt namelijk:

$$1/8 \rho g H_I^2 = 1/8 \rho g H_T^2 + 1/8 \rho g H_R^2$$

In woorden : de inkomende energie is gelijk aan de getransmitteerde energie plus de gereflecteerde energie.

$$\text{Dus geldt : } H_I^2 = H_T^2 + H_R^2 \quad 1 = C_T^2 + C_R^2$$

Gaat wel energie verloren, bijvoorbeeld door omzetting in turbulentie, dan geldt : $C_T^2 + C_R^2 < 1$.

2.3. Golfdempingsmechanismen

Golven kunnen worden gedempt door middel van een aantal mechanismen:

- 1 - Reflectie
- 2 - Dissipatie
- 3 - Absorptie
- 4 - Interferentie

Ad 1

Reflectie is het meest voor de hand liggende dempingsmechanisme. De inkomende golfenergie wordt door een constructie geheel of gedeeltelijk teruggekaatst. Daarbij kan gedacht worden aan een verticale constructie die de horizontale golfbeweging onderbreekt, of een horizontale constructie die de verticale golfbeweging onderbreekt.

Ad 2

Bij dissipatie vindt energievernietiging plaats door middel van omzetting van golfenergie in turbulentie en wrijving. Bijvoorbeeld door golven om en door een uit vele elementen bestaande constructie te leiden.

Ad 3

Bij absorptie neemt een constructie energie uit de golven op door middel van in-elastische vervorming. Een voorbeeld van zo'n constructie is een op het water drijvende in-elastische mat.

Ad 4

Door een geschikte vormgeving van een golfdempende constructie kunnen inkomende en gereflecteerde golven elkaar uitdempen: interferentie. Dit dempingsmechanisme is het meest effectief in regelmatige golven. Het is meestal minder effectief in prototype omstandigheden (windgolven zijn onregelmatige golven).

In het volgende hoofdstuk wordt aan de hand van theorieën en modellen en prototypeproeven aangegeven wat de dempingskarakteristieken van op bovenstaande mechanismen gebaseerde constructies zijn.

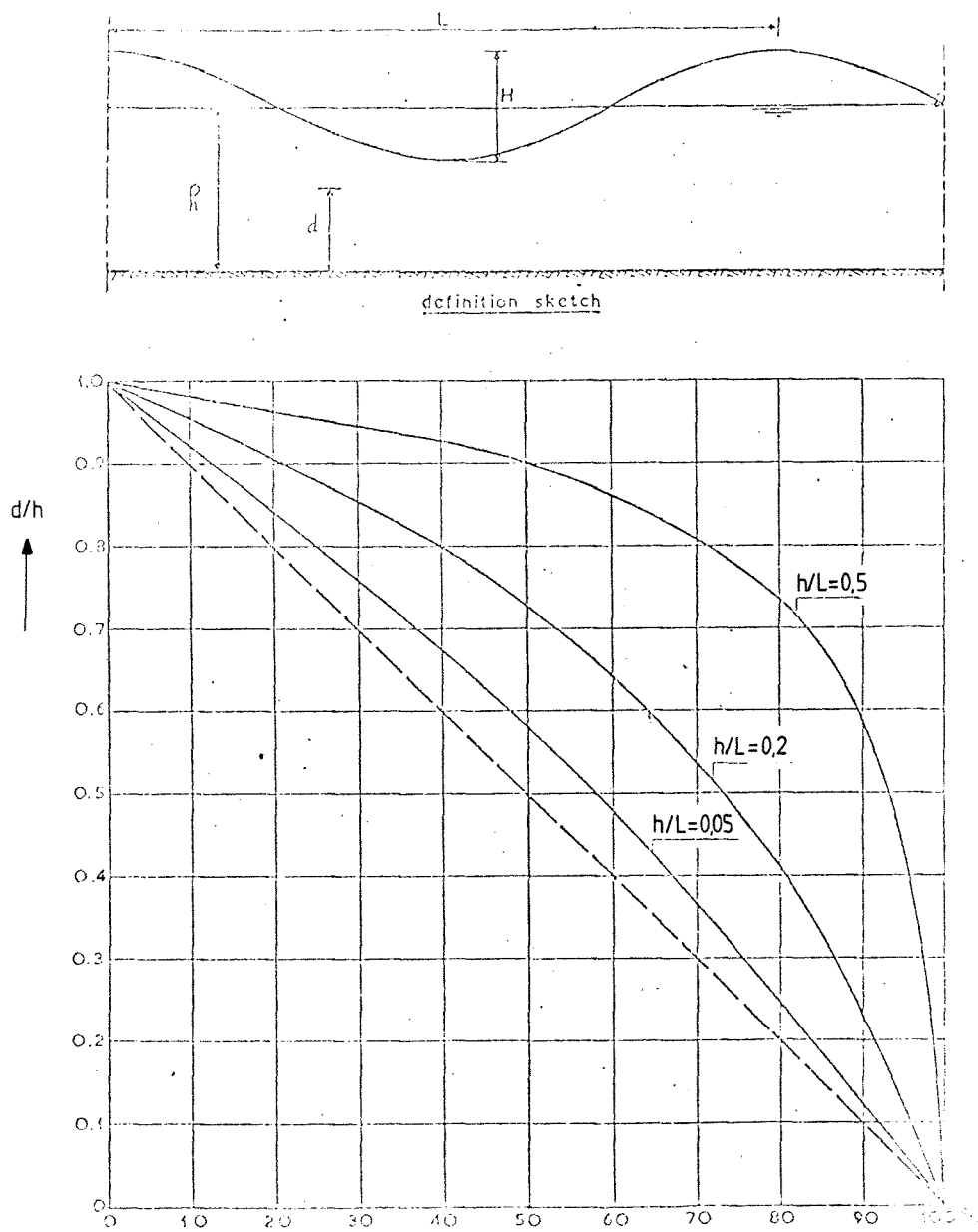


Fig. 2.1.1. Verdeling van de kinetische golfenergie over de waterdiepte.

3. GOLFDEMPENDE CONSTRUCTIES

3.1. Inleiding

In dit hoofdstuk komt de golfdempende werking van constructies aan de orde. De belangrijkste resultaten van het literatuuronderzoek worden weergegeven, met als leidraad de in het vorige hoofdstuk genoemde dempingsmechanismen (reflectie, dissipatie, absorptie en interferentie). Daarnaast wordt zoveel mogelijk aangegeven of gebruikte theorieën en modelproeven ook toepasbaar zijn voor prototype omstandigheden.

3.2. Reflecterende constructies - horizontale reflectie

Constructies die hun golfdempende werking halen uit reflectie, werken het beste als het vaste constructies zijn. Een beweeglijke constructie zal namelijk meebewegen met de golven. De reflectie neemt daardoor af. Daarnaast wekken de bewegingen van de constructie nieuwe golven op.

Van vertikale, vaste platen nabij het wateroppervlak zijn op grond van theoretische overwegingen de transmissiecoëfficiënten bepaald.

De transmissiecoëfficiënt van een dergelijk golfscherm in diep water is weergegeven in figuur 3.2.1 (streeplijn, theorie van Ursell (1947)). In datzelfde figuur zijn ook de transmissiecoëfficiënten weergegeven berekend volgens de lineaire golftheorie van Wiegel (1960).

Die C_T - waarden worden als volgt berekend :

$$C_T = \sqrt{\frac{2k(h-D) + \sinh 2k(h-D)}{2kh + \sinh 2kh}}$$

met: $k = 2\pi/L$ = golfgetal

L = golflengte

h = waterdiepte

D = diepgang van de plaat

Wiegel heeft zijn theorie gebaseerd op de aanname dat de golfenergie die onderschept wordt door de plaat wordt teruggekaatst, en dat de overige energie wordt doorgelaten en zich weer manifesteert als golven.

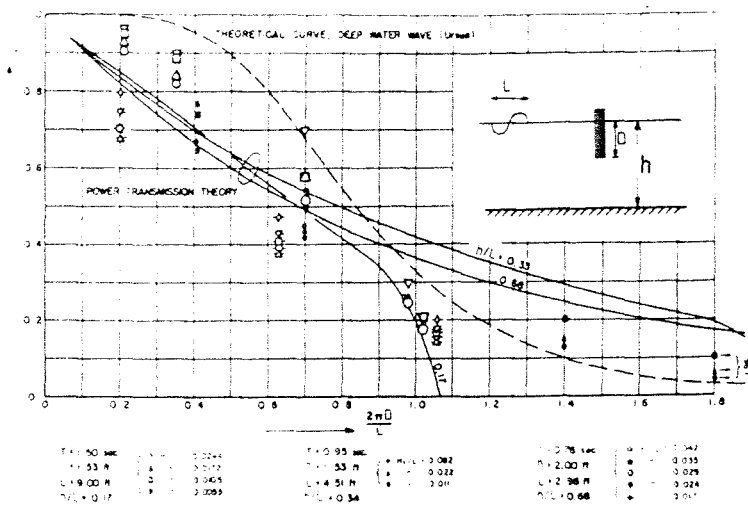


Fig. 3.2.1. Transmissiecoëfficiënt van een reflecterende vaste plaat bij het wateroppervlak (Wiegel, 1960).

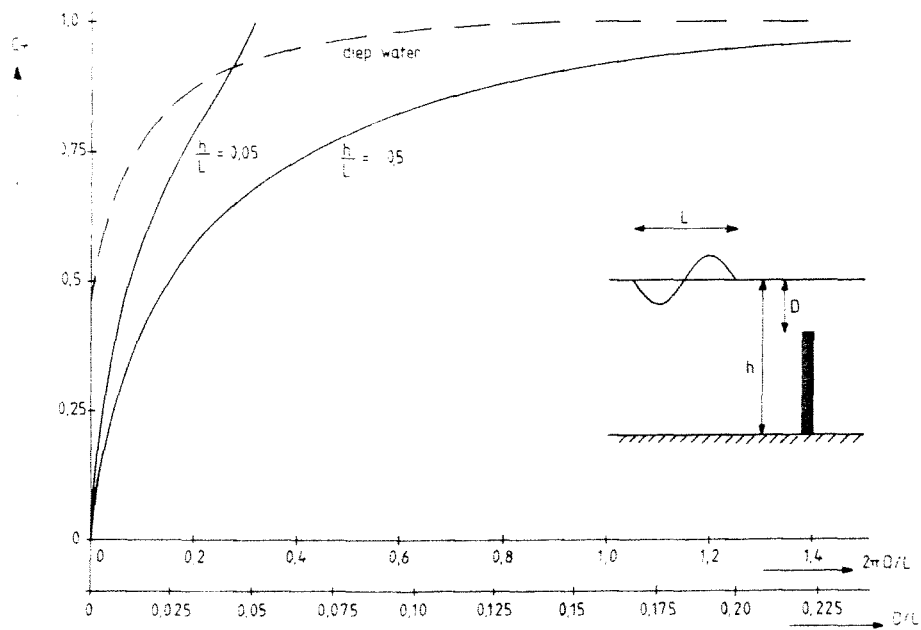


Fig. 3.2.2. Transmissiecoëfficiënt van een reflecterende vaste plaat bij de bodem.

Uitgaande van dezelfde aanname is voor een golfscherm nabij de bodem af te leiden (zie ook figuur 3.2.2):

$$C_T = \sqrt{\frac{1 - \frac{2k(h-D) + \sinh 2k(h-D)}{2kh + \sinh 2kh}}{2kh + \sinh 2kh}}$$

met: D = vrije ruimte boven het scherm.

Bovengenoemde formules geven slechte resultaten voor diep water omstandigheden ($h/L > 0,5$) zoals blijkt uit de figuren 3.2.1. en 3.2.2: de voor diep water afgeleide krommen wijken af van de met de formules berekende krommen.

Uit figuur 3.2.1. blijkt bovendien dat de golfsteilheid invloed heeft op de transmissiecoëfficiënt: hoe groter de golfsteilheid (H/L), hoe kleiner de transmissiecoëfficiënt. Dit komt door loslaatverliezen bij de onderkant van de plaat: als de golven steiler worden nemen de orbitaalsnelheden toe, waardoor de loslaatverliezen groter worden.

Als dergelijke verliezen worden verwaarloosd, geldt:

$$C_T^2 + C_R^2 = 1, \text{ of } C_T = \sqrt{1 - C_R^2}$$

Dat betekent dat voor kleine C_T - waarden de reflectie groot moet zijn.

Naast bovengenoemde constructies die de golfenergie voornamelijk terugkaatsen, zijn er een aantal afgeleide constructies die naast reflectie ook gebruik maken van andere dempingsmechanismen. Zo maken paalschermen (naast elkaar geplaatste palen met tussenruimten) gebruik van turbulente snelheidsuitwisseling. In de luwte van de palen is de snelheid van de waterdeeltjes lager dan direct achter de spleten. Uitwisseling van snelheid tussen deze gebieden zorgt voor turbulentie. Iets dergelijks gebeurt ook bij een scherm met horizontale spleten. Extra energieverliezen kunnen worden veroorzaakt door aanpassing van de vorm van de palen of de planken: een grote ruwheid geeft meer verlies en dus meer demping.

Ter vergelijking zijn in figuur 3.2.3 de transmissiecoëfficiënten van de vier hiervoor genoemde constructies weergegeven als functie van het openingspercentage van het scherm.

Daarbij is uitgegaan van een situatie met relatief kleine golfsteilheden. Uit de figuur blijkt dat reflectie effectiever is dan reflectie met turbulente snelheidsuitwisseling.

Verder blijkt een dichte wand bij het wateroppervlak beter te voldoen dan een dichte wand bij de bodem. Dat komt omdat onder de gegeven omstandigheden (geen ondiep water: $h/L = 0,14 > 0,05$) meer golfenergie bij het wateroppervlak zit dan bij de bodem. Reflecterende constructies die kunnen bewegen, dempen golven in het algemeen slechter dan vergelijkbare vaste constructies. Dit komt omdat een constructie die kan bewegen mee kan geven met de golfbeweging. Dit houdt in dat voor een constructie die horizontaal reflecteert de horizontale beweging de grootste invloed zal hebben op de damping. Dit wordt bevestigd door experimenten van Sutko en Haden (1974): verhinderen van verzetten (=horizontale beweging) geeft meer damping dan verhinderen van rollen (=rotatie) of deinen (=vertikale beweging). Een definitieschets van deze bewegingen is weergegeven in figuur 3.2.4.

Bij het verhinderen van de bewegingen speelt de stijfheid van de verankering een belangrijke rol. In het algemeen geldt voor een reflecterende constructie: hoe stijver de verankering, hoe beter de golfdamping.

Stiassnie (1980) heeft de invloed van de verankeringsstijfheid nader onderzocht. Daartoe heeft hij een verticale, verankerde plaat geschematiseerd tot een massa-veersysteem. In zo'n systeem hebben zowel stijfheid van de verankering (de veer) als de massa invloed op de respons van het systeem op de aandrijvende kracht (de golven). De invloed van de massa komt in de volgende paragraaf aan de orde.

Stiassnie heeft voor drie verankerings-stijfheden (a):

$k_v/\rho g L = 0,01$, slap ; (b): $k_v/\rho g L = 1,00$, gemiddeld ;

en (c): $k_v/\rho g L = 100$, stijf) de transmissiecoëfficiënt berekend, zie figuur 3.2.5. Naast de trend dat grotere verankeringsstijfheden zorgen voor een lagere transmissie, is ook de invloed van resonantie zichtbaar. Kenmerk van een massa-veersysteem is namelijk dat voor opgedrongen frequenties die ongeveer gelijk zijn aan de eigen frequentie van het systeem de bewegingen versterkt worden.

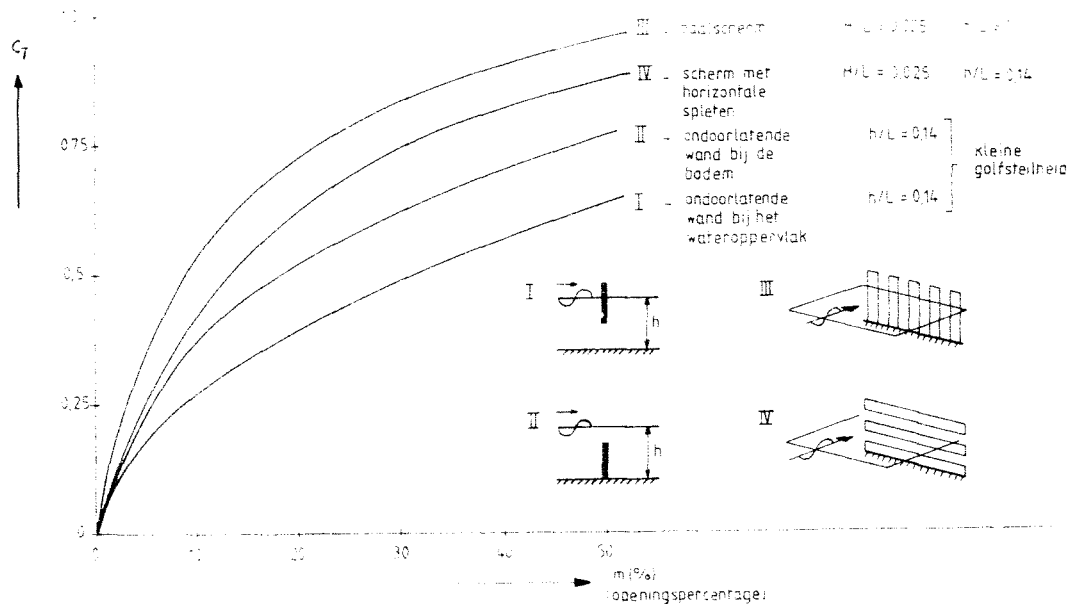


Fig. 3.2.3. Transmissiecoëfficiënt van 4 vaste constructies als functie van het openingspercentage.

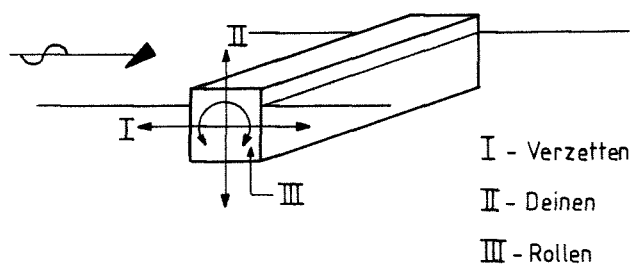


Fig. 3.2.4. Bewegingsmogelijkheden van een drijvende constructie (2-dimensionale situatie).

Bij die frequentie treedt een faseverschil van 180° op tussen de bewegingen van de constructie en de golfbeweging. De tegengestelde bewegingen zorgen voor meer reflectie.

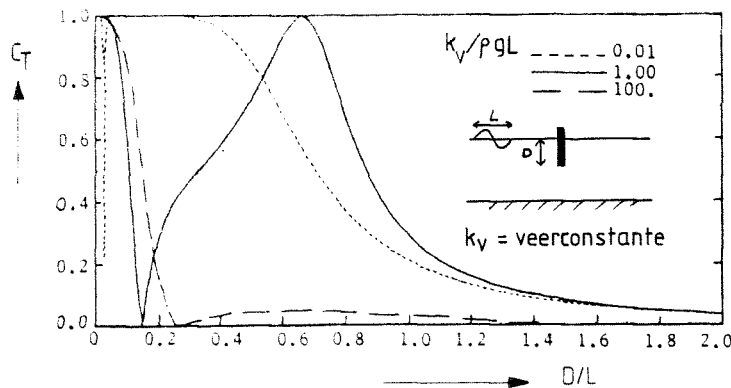


Fig.3.2.5. Effect van de verankeringsstijfheid (k_v) op de transmissiecoëfficiënt van een drijvende constructie, $B \approx 0$ (Stiassnie, 1980)

Voordeel van het resonantie-verschijnsel is de geringe transmissie.

Dit kan vooral nuttig zijn voor constructies met een eigen frequentie die ligt in de buurt van de frequentie van de langste te dempen golven. Daartegenover staat een groot nadeel: een goede damping van die lange golven m.b.v. resonantie zorgt voor zeer grote krachten in de constructie en de verankering (hoge golven + versterkte bewegingen).

3.3. Reflecterende constructies - verticale reflectie

De basisvorm van een constructie die de verticale golfbeweging verhindert, is een horizontale plaat. De voor golfdamping van belang zijnde dimensie van zo'n plaat is de breedte B (afmeting in de golfvoortplantingsrichting). Deze afmeting moet worden gezien in relatie tot de golflengte L : naarmate B/L toeneemt, neemt de golftransmissie af. Dit is weergegeven in figuur 3.3.1.

Deze krommen zijn bepaald door John (1949), uitgaande van de lineaire golftheorie, voor een stijve plaat in ondiep water. De vrij drijvende en de vaste plaat hebben een geringe diepgang. Uit de figuur blijkt dat een constructie die kan bewegen slechter dempt dan een vaste constructie.

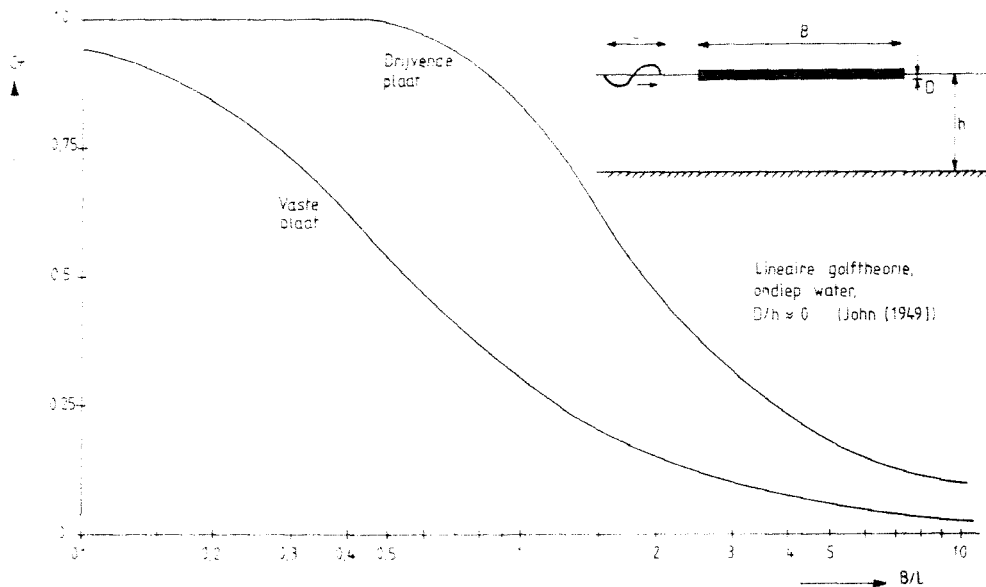


Fig. 3.3.1. Transmissiecoëfficiënt van een horizontale plaat (John, 1949).

De werkelijke transmissiecoëfficiënt kan afwijken van de theoretische waarde. Daar zijn een aantal factoren verantwoordelijk voor. Allereerst zijn dat de factoren die van invloed zijn op het gedrag van een tot een massa-veersysteem geschematiseerde constructie. Dat zijn de stijfheid van de verankering en de massa en het massatraagheidsmoment van de plaat. Naarmate de verankeringsstijfheid toeneemt, gaat het gedrag meer op dat van een vaste constructie lijken, met als gevolg een toenemende demping. Dat geldt ook voor een toenemende massa of massatraagheidsmoment. De massa kan toenemen door zwaardere materialen te gebruiken. Omdat de constructie moet blijven drijven kan dat niet onbeperkt gebeuren. In dat opzicht geeft een vergroting van de massa door verbreding van de constructie geen problemen.

In plaats van vergroting van de massa (door verbreding), kan het massatraagheidsmoment vergroot worden door materiaal naar de buitenkant van de constructie te brengen. De constructie wordt daardoor stabiel en zal beter dempen.

Andere factoren die invloed hebben op de transmissiecoëfficiënt zijn de diepgang en de ruwheid van de plaat. De invloed van de diepgang is in de vorige paragraaf aan de orde geweest: horizontale reflectie. Hoe ruwer de onderkant van de plaat is, hoe meer energie door wrijving uit de golven wordt gehaald.

3.4. Dissiperende constructies

Dissipatie van golfenergie vindt onder andere plaats bij wrijving en bij het breken van golven. In dat laatste geval wordt de golfenergie omgezet in turbulentie.

Omzetten van de energie in turbulentie, en wrijving kunnen benut worden in constructies om golven te dempen. Zo speelt turbulente snelheidsuitwisseling een rol bij een poreuze wand.

Een bijzondere constructie die golfenergie omzet in turbulentie is een drijvende constructie opgebouwd uit autobanden. Iedere, door de golven te passeren band, zorgt voor verstrooiing van golfenergie. Dat betekent dat de breedte B van de constructie invloed heeft op de golftransmissie: een toename van de breedte zorgt voor een afname van de transmissie.

Daarnaast spelen de dichtheid en de stijfheid van de constructie een rol: zowel een grotere dichtheid, als een grotere stijfheid zorgen voor een betere demping. Dit is vooral een gevolg van een toenemende reflectie.

Een en ander is weergegeven in figuur 3.4.1: een Wave-Guard constructie die dichter en stijver is dan een Goodyear constructie dempt het beste.

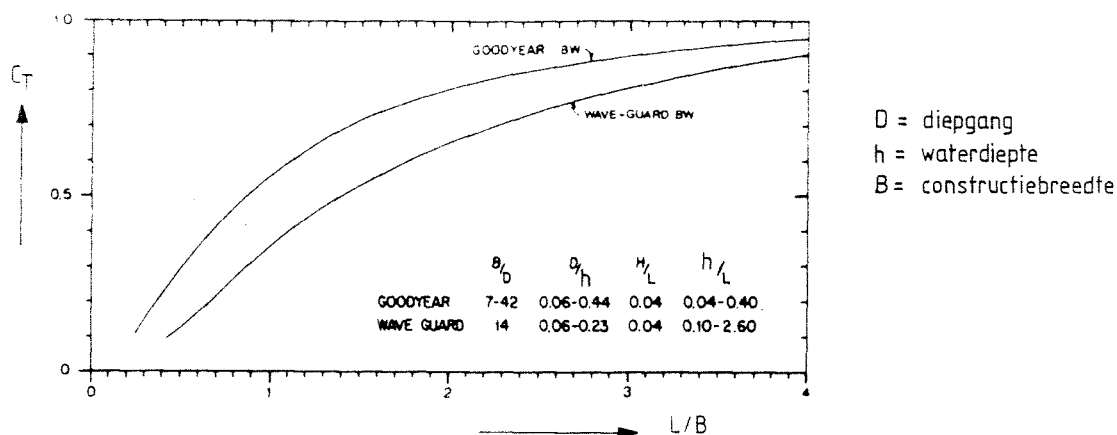


Fig.3.4.1. Transmissiecoëfficiënt van 2 uit autobanden opgebouwde constructies (Harms, 1979).

Harms (1979) heeft een eenvoudig model ontwikkeld voor bepaling van de transmissiecoëfficiënt van een autobandenconstructie. Daarvoor heeft hij het vermogen beschouwd dat nodig is om een band (met verwaarloosbare massa) met een zekere snelheid $U(t)$ door een viscieuze vloeistof te doen bewegen (de vloeistof is in rust). Het produkt van de weerstandskracht op de band en de voortplantingssnelheid is evenredig met de verandering in de tijd van de kinetische energie van het omringende water. Harms heeft aangenomen dat deze relatie ook geldt als de band wordt vastgehouden en het water met een snelheid $U(t)$ langs de band beweegt, ook als het een oscillerende beweging is. Als eerste benadering is de lineaire golftheorie gebruikt, voor diep water condities. Verondersteld is dat de van de weerstand afhankelijke dissipatie alleen varieert met H^2 , zodat de dissipatie op een willekeurige plaats van de constructie evenredig is met de lokale energiedichtheid $1/8\rho g H^2$. Dit levert de volgende vergelijking voor de transmissiecoëfficiënt op:

$$C_T = \exp \left\{ \frac{-20 \pi C_d (H_I / L)}{3 P (L/B)} \right\}$$

met: C_d = dimensieloze weerstandscoefficiënt

P = porositeit van de constructie

($\sim \frac{\text{Volume van de constructie}}{\text{Volume van de banden}}$; Wave-Guard: $P = 0,53$)
 Goodyear : $P = 0,87$

Harms heeft de weerstandscoefficiënt bepaald aan de hand van gemeten getransmitteerde golfhoogten. Voor de onderzochte constructies (Wave-Guard en Goodyear) is C_d ongeveer 0,6. In figuur 3.4.2 is een vergelijking gemaakt tussen gemeten en berekende transmissiecoëfficiënten. De verschillen voor $L/B > 2$ zijn een gevolg van de aanname dat de banden op hun plaats blijven. In werkelijkheid zal de constructie bij de relatief grote golflengten met de golven meebewegen, waardoor dissipatie afneemt.

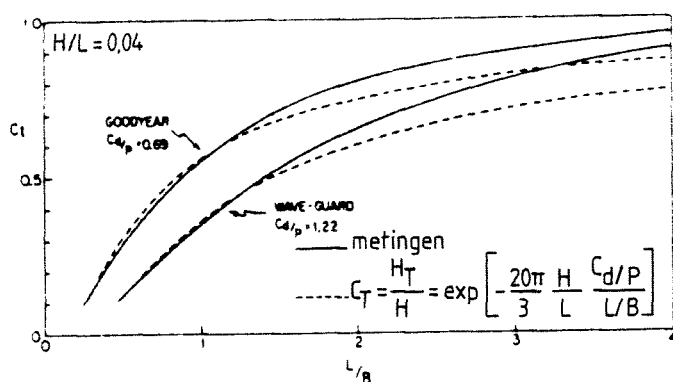


Fig. 3.4.2. Vergelijking van berekende en gemeten transmissiecoëfficiënten van bandenconstructies (Harms, 1979).

De theorie van Harms is discutabel omdat reflectie wordt verwaarloosd. Daardoor wordt geen invloed van de relatieve diepgang (D/h) op de demping gevonden.

De relatieve diepgang is echter van belang in ondiep water. De invloed neemt toe naarmate de constructie stijver is. De constructie dempt dan meer en meer door reflectie. Dit blijkt uit een vergelijking tussen een relatief slappe constructie (Goodyear; figuur 3.4.3) en een relatief stijve constructie (Pipe-Tire; figuur 3.4.4):

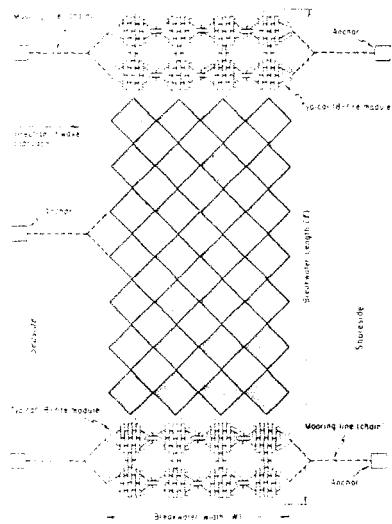


Fig. 3.4.3. Goodyear constructie.

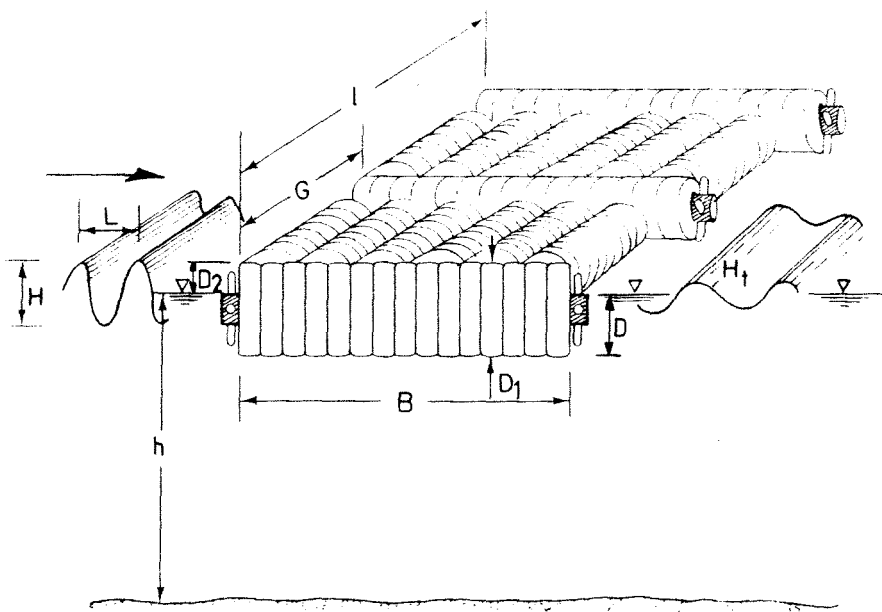


Fig. 3.4.4. Pipe-Tire constructie.

- a - Bij een Goodyear constructie veroorzaakt een toename van D/h van 0,16 tot 0,33 een afname van C_T met minder dan 10%
 - b - Bij een Pipe-Tire constructie veroorzaakt een toename van D/h van 0,22 tot 0,51 een afname van C_T met maximaal circa 40%, afhankelijk van B/L
- (Bron: Harms, Westerink, Sorenson en McTamany (1982)).

3.5. Absorberende constructies

Absorberende constructies halen energie uit golven, doordat ze in-elastisch kunnen vervormen. De energie wordt omgezet in inwendige wrijving. Een voorbeeld van een dergelijke constructie is een op het water drijvende rubber mat. Daarnaast kan absorptie plaatsvinden in ankerlijnen door hysteresis.

De demping van een absorberende constructie is sterk materiaal afhankelijk. Daarom kan hier geen eenduidig verband worden gegeven tussen transmissiecoëfficiënt en bijvoorbeeld de dikte van de constructie. Wel kan als richtlijn worden aangehouden dat een breedte van enkele malen de golflengte een goede golfdemping te zien zal geven (zie literatuurstudie).

In het algemeen zullen de verankeringskrachten op een dergelijke constructie klein zijn. Dat komt doordat de breedte van de constructie enkele malen de golflengte is. De onder de constructie optredende weerstands- en traagheidskrachten dempen elkaar uit.

Een groot nadeel van een absorberende constructie is dat zo'n constructie sterk op vermoeting wordt belast, juist doordat de energie in de constructie gaat zitten. Bij het ontwerp moet daarmee rekening worden gehouden, bijvoorbeeld door de energie te concentreren.

3.6. Interferentie constructies

Van interferentie is sprake als door wisselwerking golven op elkaar versterken of verzwakken.

Constructies gebaseerd op dit principe reflecteren een deel van de golven zodanig, dat ze in tegengestelde fase komen met de inkomende golven. Een eenvoudige manier om dit te bereiken is het achter elkaar plaatsen van twee wanden (figuur 3.6.1).

Tegen de achterste wand gereflecteerde golven hebben, als ze bij de voorste wand terug zijn, een faseverschil met de dan inkomende golven. Als de wandafstand $1/4$ golflengte is, is het faseverschil 180° . Dan is de demping het grootst.

Bovenstaande gaat vooral op voor min of meer regelmatige golven. Een constructie aangepast aan de golflengte dempt goed. In de natuur zijn de golven echter veelal onregelmatig, dat wil zeggen er komen verschillende golflengten voor. Dat betekent dat een interferentie constructie zal werken als een filter: sommige golven worden goed gedempt, andere slecht. Interferentie kan als extra dempingsmechanisme ook een rol spelen bij andere constructies.

Naast constructies waarbij de golven elkaar uitdempen, zijn er ook constructies waarbij de optredende krachten elkaar verzwakken.

Van dit principe maakt de zogenaamde offset constructie gebruik (zie figuur 3.6.2). Deze constructie heeft een verspringende reflecterende wand. Krachten ten gevolge van een golftop tegen de voorste wand worden gecompenseerd door krachten ten gevolge van een golfdal tegen de achterste wand. De afstand tussen de wanden moet daarvoor ongeveer de halve golflengte zijn. De golfdemping van zo'n constructie wordt verkregen door reflectie, de stabiliteit door opheffing van krachten.

3.7. Scheef inkomende golven

In het voorgaande is ingegaan op de golfdempende werking van constructies in twee dimensionale situaties: situaties waarin de golven loodrecht op een constructie aankomen. Bij scheef inkomende golven krijgt een constructie per lengte-eenheid minder energie te verwerken dan bij recht inkomende golven. Bij een invalshoek θ is de te verwerken energie een factor $\cos \theta$ kleiner dan bij een invalshoek 0 (figuur 3.7.1).

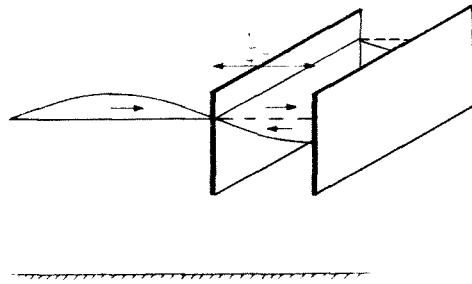


Fig. 3.6.1. Voorbeeld van een interferentie constructie
(vaste wanden met een onderlinge afstand van
 $\frac{1}{4}$ golflengte).

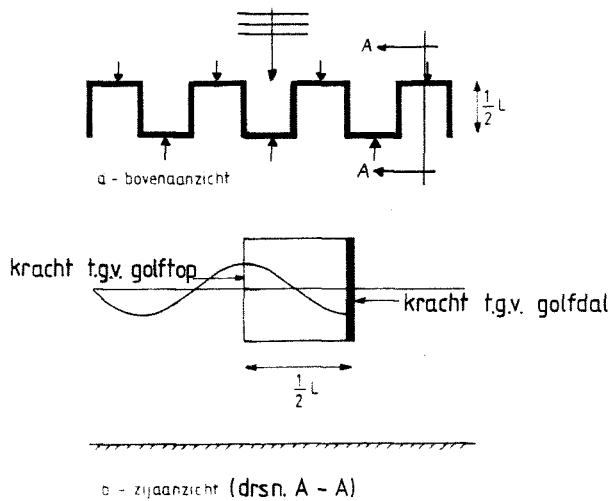


Fig. 3.6.2. "Offset" constructie (constructie om krachten te
minimaliseren).

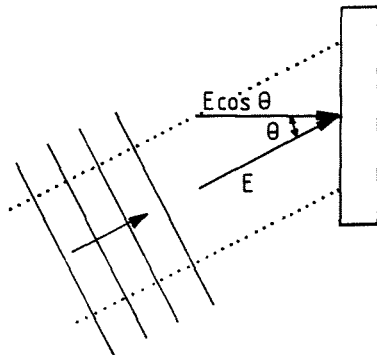


Fig.3.7.1. Energievermindering bij scheef invallende golven.

In één golf (hoogte H , lengte L) is per eenheid van lengte een hoeveelheid energie aanwezig, gelijk aan $1/8 \rho g H^2 L$.

Bij scheef inkomende golven staat een constructie derhalve bloot aan:

$$E_{\theta} = 1/8 \rho g H^2 L \cos \theta.$$

Dit komt overeen met een constructie die wordt aangevallen door loodrecht inkomende golven met een equivalente golfhoogte

$$H_{eq} = H \sqrt{\cos \theta} \text{ of met een equivalente golflengte}$$

$$L_{eq} = L \cos \theta :$$

$$E_{\theta}^{eq} = 1/8 \rho g (H \sqrt{\cos \theta})^2 L = 1/8 \rho g H^2 (L \cos \theta).$$

Het komt er op neer dat de effectieve constructiebreedte van een golfdempende constructie groter is bij scheef invallende golven dan bij recht invallende golven. De golfdempende werking kan daardoor bij scheef invallende golven beter zijn dan bij recht invallende golven. Echter, door het ingewikkelde bewegingspatroon van de constructies bij scheef invallende golven (6 vrijheidsgraden) kan de damping ook slechter worden. Op voorhand is niet te zeggen wat het meeste effect zal hebben: de grotere effectieve breedte of het ingewikkelder bewegingspatroon.

3.8. Golfkrachten

De respons van een drijvende constructie op golven kan in principe bepaald worden door de constructie (inclusief de verankering) te schematiseren tot een massa-veersysteem. De verankeringskrachten worden dan bepaald aan de hand van de verplaatsingen die het systeem ondergaat. Daarvoor moeten de bewegingsvergelijkingen worden opgelost: drie vergelijkingen in een twee dimensionale situatie (loodrecht inkomende golven), en zes in een drie dimensionale situatie.

Een aantal factoren maakt het gebruik van de bewegingsvergelijkingen moeilijk: de schematisatie van de verankeringsstijfheid, de schematisatie van de golven en de stijfheid van de constructie. Het gedrag van een verankeringskabel is meestal anders dan dat van een (in de schematisatie gebruikte) veer: bij een veer neemt de kracht evenredig met de uitrekking toe, een kabel moet eerst strakgetrokken worden voordat een veergedrag optreedt. Bij de bepaling van de golfkrachten op een constructie moet eerst bepaald worden wat voor golven op de constructie aankomen: ongebroken, brekende of gebroken golven. Een flexibele constructie is vaak niet meer te schematiseren tot een massa-veersysteem. Vanwege deze moeilijkheden wordt vaak gebruik gemaakt van eenvoudige benaderingen, of van modelproeven, voor de bepaling van de verankeringskrachten.

De krachten op relatief stijf verankerde reflecterende constructies kunnen worden benaderd door gebruik te maken van de methode Sainflou voor reflecterende wanden.

Bij constructies die breder zijn dan $1/4$ golflengte heffen de door golven opgewekte weerstands- en traagheidskrachten elkaar grotendeels op. In zo'n geval gaat de gemiddelde door de golven opgewekte kracht een rol spelen. De gemiddelde kracht is volgens Lonquet-Higgins (1977) gelijk aan het verschil in golfspanning voor en achter de constructie:

$$F = 1/8 \rho g (H_I^2 + H_R^2 - H_T^2) \left(1/2 + \frac{kh}{\sinh 2 kh} \right)$$

Dit is een kracht per lengte-eenheid van de constructie,

met: H_I = hoogte inkomende golven

H_R = hoogte gereflecteerde golven

H_T = hoogte getransmitteerde golven

$k = 2 \pi / L = \text{golfgetal}$

Uit de formule blijkt dat een reflecterende constructie grotere krachten ondervindt dan een dissiperende constructie (bij dezelfde demping).

Optredende piekkrachten kunnen soms bepaald worden uit het kracht-tijd diagram. Het kracht-tijd diagram van een bandenconstructie is volgens Galvin en Giles (1979) nagenoeg sinusvormig (figuur 3.8.1). De piekkracht is in dat geval ongeveer twee maal de gemiddelde kracht.

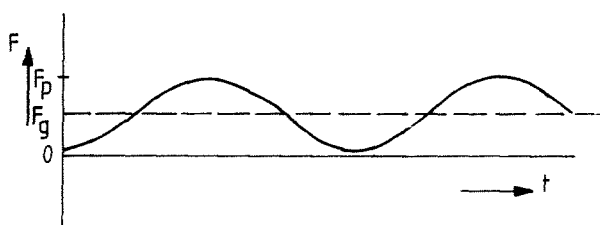


Fig. 3.8.1. Geïdealiseerd krachtverloop bij een drijvende banden constructie.

De piekkrachten die optreden in een bandenconstructie kunnen volgens Harms (1979) ook bepaald worden met behulp van de volgende formules (alleen geldig voor diep water):

$$\frac{F}{\rho g H^2} = K_o \left(\frac{L}{B} \right)^{-1} \tanh \left(\frac{L}{B} \right) \quad \text{of} \quad \frac{F}{\rho g B^2} = K_o \left(\frac{H}{L} \right) \left(\frac{L}{B} \right) \tanh \left(\frac{L}{B} \right)$$

K_o is een factor die experimenteel moet worden bepaald.

Voor een Goodyear constructie heeft Harms K_o bepaald op

$K_o = 0,093$, en voor een Wave-Guard constructie op $K_o = 0,15$, zie figuur 3.8.2.

In modelproeven worden constructies in het algemeen over hun volle lengte (dimensie loodrecht op de golfvoortplantingsrichting) door golven belast. In werkelijkheid treedt die belasting, doordat golfkammen een eindige lengte hebben, slechts tegen een deel van de constructie op.

Daardoor zijn de werkelijke krachten vaak kleiner dan uit modelproeven zou volgen.

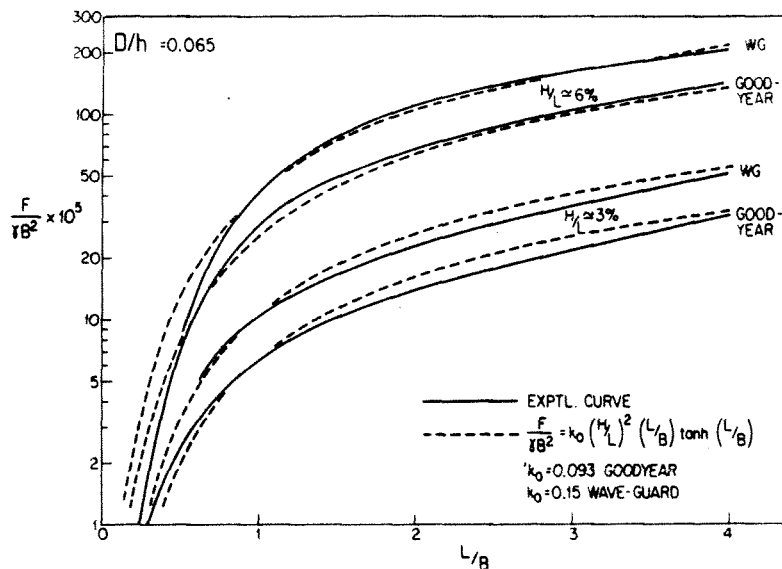


Fig.3.8.2. Berekende en gemeten verankeringskrachten (piekwaarden).

3.9. Verankeringswijzen

Voor de verankering van drijvende golfdempende constructies komen een aantal mogelijkheden in aanmerking:

- a - bevestiging direct aan palen
- b - bevestiging met kabels aan palen
- c - bevestiging met kabels aan ankers.

Ad a

Bevestiging direct aan palen geeft de beste mogelijkheden om bewegingen van een constructie te verhinderen. Zo'n bevestiging is mogelijk als de waterdiepte niet te groot is. In gebieden met een constant peil kan voor een vaste constructie gekozen worden, in gebieden met een variabele waterstand moet de verticale verplaatsing van een constructie mogelijk blijven (zoals in figuur 3.9.1.).

Voordeel van een paalverankering is het geringe ruimtebeslag. Nadelig zijn de relatief grote verankeringskrachten.

Ad b

Kabels tussen een constructie en palen hebben een schokdempende werking. Daardoor wordt het nadeel van bevestiging direct aan palen, grote verankeringskrachten, voor een deel opgeheven.

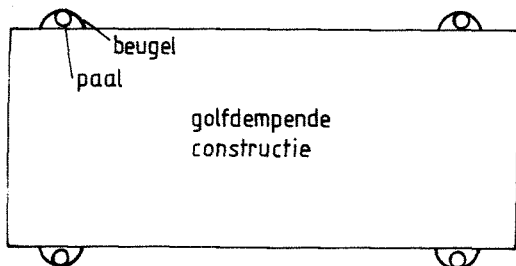


Fig. 3.9.1. Paalverankering (bovenaanzicht)

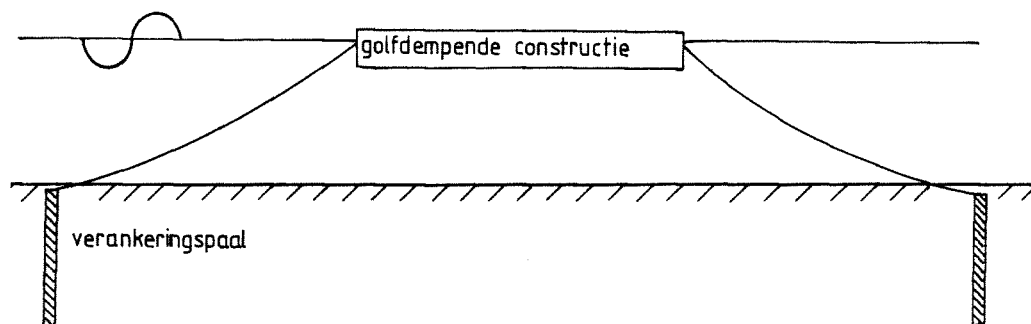


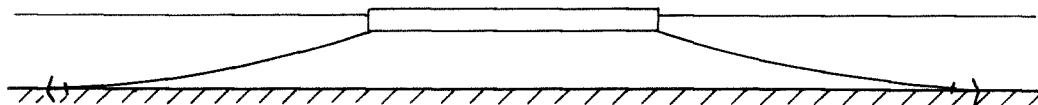
Fig. 3.9.2. Paal/kabel verankering.

Een voorbeeld van zo'n bevestiging is weergegeven in figuur 3.9.2.

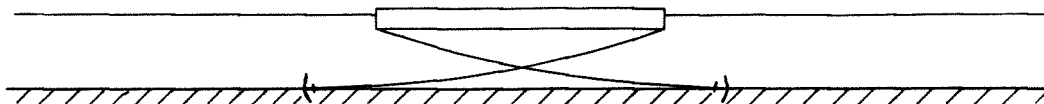
Deze verankering kan ook op dieper water worden toegepast dan mogelijkheid a.

Ad c

Verankering met palen, zwaartekrachten- of scheepsankers is toepasbaar op vrijwel elke waterdiepte. De verankering kan zowel "open" als "gekruist" zijn (figuur 3.9.3.). Soms is de demping van een constructie met een gekruiste verankering beter dan met een open verankering, maar er zijn ook gevallen bekend waarbij de keuze van de verankering geen invloed heeft op de golfdemping. Een voordeel van een gekruiste verankering ten opzichte van een open verankering is dat aanleggende boten weinig hinder onder vinden van de ankerkabels.



a - "open" verankering



b - "gekruiste" verankering

Fig. 3.9.3. Verankering met kabels aan zwaartekrachten- of scheepsankers.

4. VERGELIJKING VAN EEN AANTAL GOLFDEMPENDE CONSTRUCTIES

4.1. Inleiding

Voordat tot keuze van een bepaald type golfdempende constructie kan worden overgegaan, moeten constructies op een aantal punten met elkaar worden vergeleken. Belangrijk zijn daarbij vooral de verschillen in afmetingen en verankeringswijzen die optreden bij het verkrijgen van een zekere demping. De afmetingen zijn vooral van belang vanuit landschappelijk oogpunt, en vanuit kosten oogpunt. Voor beiden geldt: hoe kleiner, hoe beter. De verankeringswijze heeft invloed op de krachten die in de constructie en de verankering op zullen treden: een stijve verankering, meestal gunstig voor de golfdemping, gaat veelal gepaard met hoge krachten.

4.2. Randvoorwaarden

Om constructies op de golfdempende werking te kunnen vergelijken, wordt uitgegaan van een aantal randvoorwaarden:

- 1 - waterdiepte: $h = 1,75\text{m}$
- 2 - hoogte inkomende golven: $H_I = 0,8 \text{ à } 1,2\text{m}$
- 3 - hoogte doorgegeven golven: $H_T = 0,2 \text{ à } 0,4\text{m}$
- 4 - golflengte: $L = 18\text{m}$ (periode: $T = 3 \text{ à } 3,5\text{s}$)
- 5 - openingspercentage: minimaal 25% (doorstroomprofiel over de gehele constructielengte; ten behoeve van wateruitwisseling.)

In principe zijn de randvoorwaarden voor iedere lokatie verschillend!

Randvoorwaarde 3 geeft aan tot welke hoogte de golven gereduceerd moeten worden om erosie van de oever zoveel mogelijk tegen te gaan. Omdat niet voldoende bekend is wat de relatie is tussen golfhoogte en mate van erosie wordt gesteld dat de getransmitteerde golfhoogte maximaal $0,20 \text{ à } 0,40\text{m}$ mag zijn. Randvoorwaarde 5 moet in de zomer voor voldoende wateruitwisseling voor en achter de constructie zorgen om bijvoorbeeld botulisme te voorkomen. Aangenomen wordt dat als 25% van de waterdiepte vrij blijft er voldoende uitwisseling plaats kan vinden.

Uit randvoorwaarden 2 en 3 volgt dat de transmissiecoëfficiënt $C_T = 0,15$ à $0,5$ moet zijn. De variatie in C_T is dus groot. Om te zien of die variatie principieel andere constructies vereist, wordt bekeken welke constructietypen voldoende voor $C_T = 0,5$ en welke voor $C_T = 0,15$.

4.3. Vergelijking van dempingsmechanismen

Bij de vergelijking van golfdempende constructies wordt onderscheid gemaakt tussen: verticale constructies en horizontale constructies.

Vertikale constructies nemen een relatief groot deel van de waterdiepte in beslag, horizontale constructies relatief weinig. Dat betekent dat met name bij verticale constructies de eis van voldoende vrije ruimte voor de wateruitwisseling belangrijk is.

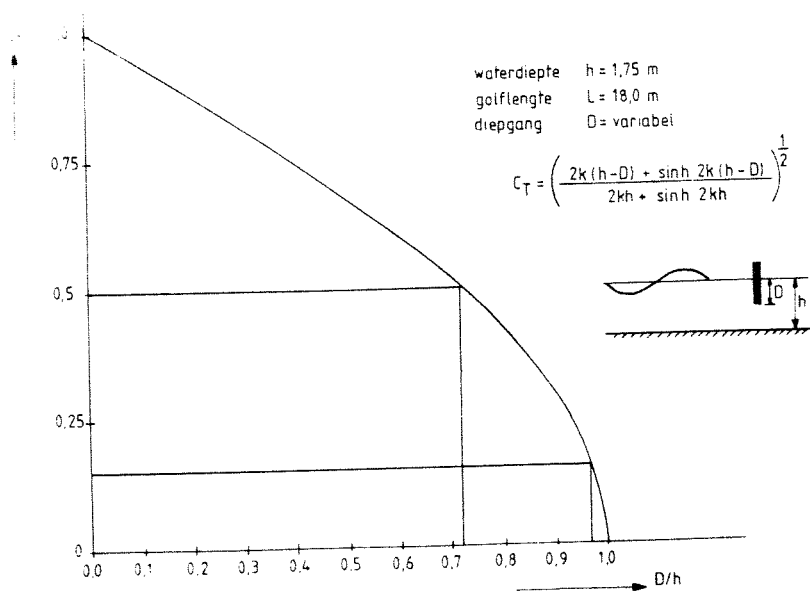


Fig. 4.3.1. Transmissiecoëfficiënt van een stijve verticale plaat
(theorie Wiegel (1960) toegepast op de randvoorwaarden).

a - Vertikale constructies

Dat verticale constructies een relatief groot deel van de waterdiepte in beslag nemen blijkt uit het volgende, aan de randvoorwaarden aangepaste, voorbeeld: in figuur 4.3.1. is de transmissiecoëfficiënt weergegeven als functie van de relatieve waterdiepte (D/h) van een vaste verticale plaat, (theorie Wiegel (1960)). Uit de figuur blijkt dat voor $C_T = 0,5$ de relatieve diepgang $D/h = 0,72$ is. Dat betekent dat 72% van de waterdiepte door de constructie in beslag wordt genomen. Dit is nu niet toelaatbaar. Bij een toelaatbare $D/h = 0,75$ blijkt $C_T = 0,15$ niet haalbaar.

Een dergelijke plaat is relatief beter geschikt voor diep water, wat moge blijken uit figuur 4.3.2: bij gelijke D/h is de transmissiecoëfficiënt in diep water ($h/L > 0,5$) kleiner dan in ondiep water ($h/L < 0,05$).

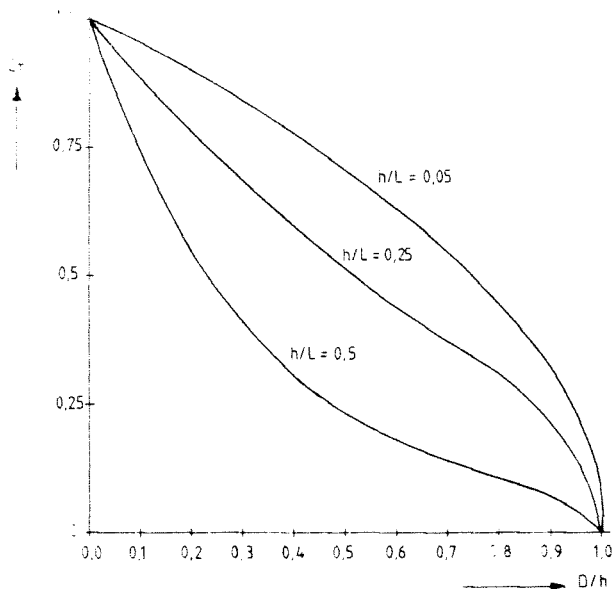


Fig. 4.3.2. Transmissiecoëfficiënt van een stijve verticale plaat (theorie Wiegel (1960)).

Bij bovenstaande is uitgegaan van een vaste plaat. Qua wateruitwisseling is dat geen gunstige constructie. Dat betekent dat een beweeglijke plaat, die voor dezelfde golfdemping dieper in het water zal moeten steken, nog minder geschikt is. Dus: een verticale plaat is bij de gegeven randvoorwaarden alleen toepasbaar als vaste constructie als de transmissiecoëfficiënt niet kleiner dan $C_T = 0,5$ hoeft te zijn.

b - Horizontale constructies

De breedte van een constructie is bij horizontale constructies van belang. In figuur 4.3.3. is een vergelijking gemaakt tussen een viertal "breedte" constructies: een vaste plaat (vertikale reflectie), een drijvende plaat (vertikale reflectie), een flexibele autobandenconstructie (dissipatie) en een geperforeerde drijvende plaat (dissipatie) + horizontale reflectie, dit vertekent het beeld enigszins (figuur 4.3.8). Uit de figuur blijkt de invloed van de verankeringsstijfheid en het dempingsmechanisme. Van de dichte platen biedt de plaat met de stijve verankerung (vast = oneindig stijf) de meeste demping bij dezelfde plaatbreedte.

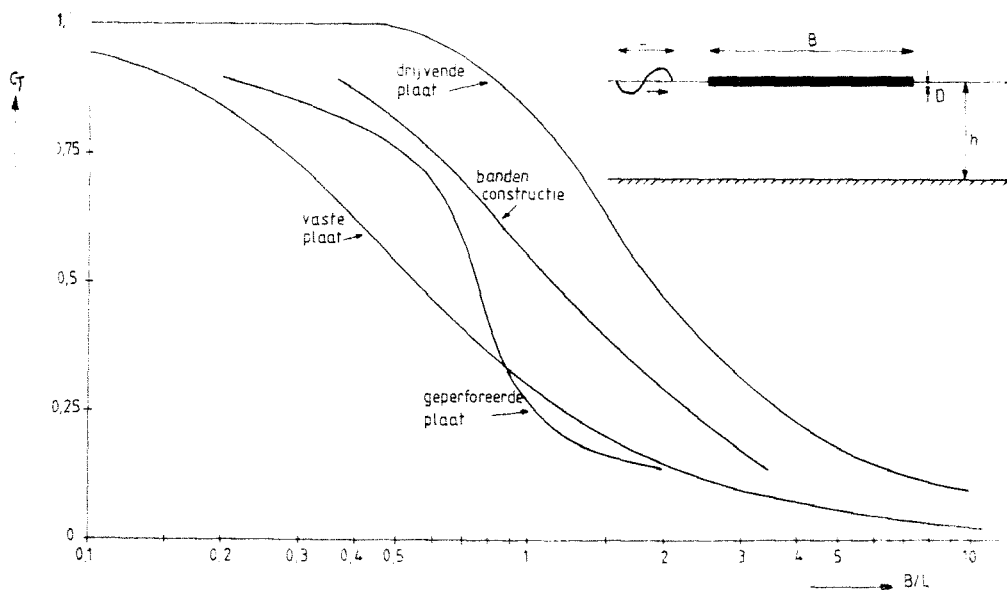


Fig. 4.3.3. Transmissiecoëfficiënt van 4 "breedte"-constructies.

Uit figuur 4.3.3 blijkt tevens dat dissipatie een beter dempingsmechanisme is dan verticale reflectie. Daarbij wordt aangenomen dat de verankering van de dissiperende constructie, gezien de flexibiliteit van de constructie, niet erg stijf zal zijn.

Aangezien dissipatie een beter dempingsmechanisme is dan verticale reflectie, is dit een interessant mechanisme om verder te beschouwen. In figuur 4.3.4 wordt een aantal dissiperende autobandenconstructies met elkaar vergeleken: de relatief open, slappe Goodyear constructie (figuur 3.4.3) en de dichtere, stijvere Pipe-Tire constructie (figuur 3.4.4). Een grotere dichtheid en een grotere stijfheid gaan vaak samen. Een PT-constructie (Pipe-Tire) dempt altijd beter dan een Goodyear constructie. Dit wordt veroorzaakt doordat bij dergelijke constructies ook reflectie een rol speelt: die neemt toe naarmate de constructie dichter en stijver is.

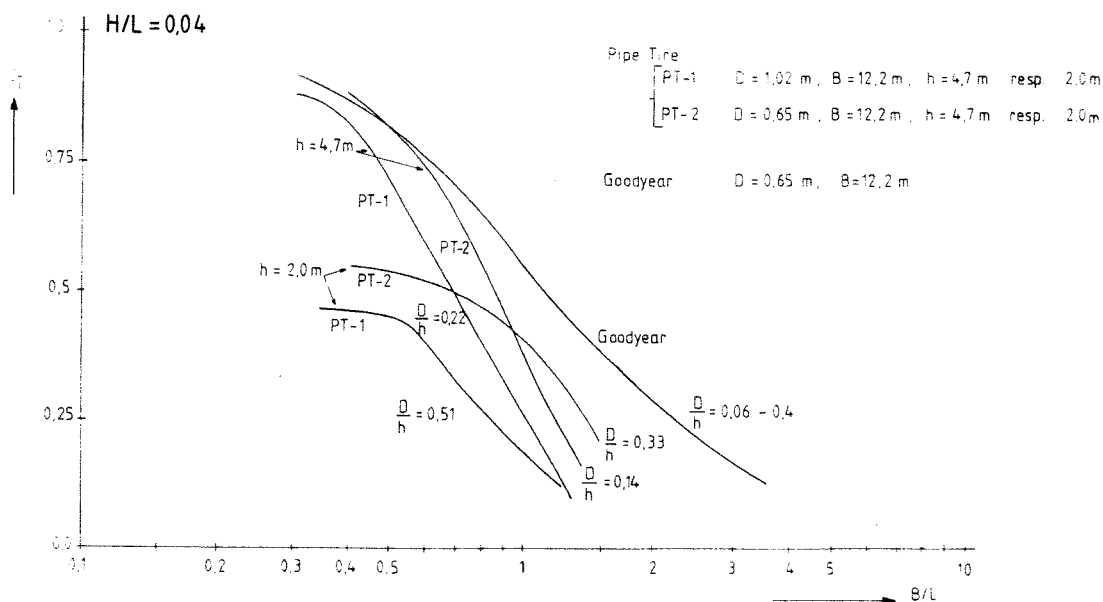


Fig. 4.3.4. Transmissiecoëfficiënten van drie typen bandenconstructies bij verschillende waterdiepten (metingen).

c - Constructie met horizontale en verticale werking

Uit figuur 4.3.4 volgt ook dat de relatieve diepgang bij de PT-constructie invloed heeft op de transmissiecoëfficiënt. Zeker voor de wat langere golven ($B/L < 0,75$) geldt dat een grotere relatieve diepgang zorgt voor meer demping. Dat duidt erop bij die relatief dichte constructie reflectie tegen de voorkant een rol speelt bij de demping: door toevoeging van een extra dempingsmechanisme verbetert de demping.

Uit figuur 4.3.4 is nog op te maken dat zowel $C_T = 0,5$ als $C_T = 0,15$ haalbaar is met een dergelijke constructie. Wordt voor een Pipe-Tire constructie gekozen, dan moet voor $C_T = 0,5$ de breedte van de constructie $B \approx 12,5\text{m}$ zijn (PT-2 : $D = 0,65\text{m}$) en voor $C_T = 0,15$ moet $B \approx 22,5\text{m}$ (PT-1 : $D = 1,02\text{m}$). In het laatste geval is de relatieve diepgang $D/h \approx 0,58$ (bij een waterdiepte $h = 1,75\text{m}$).

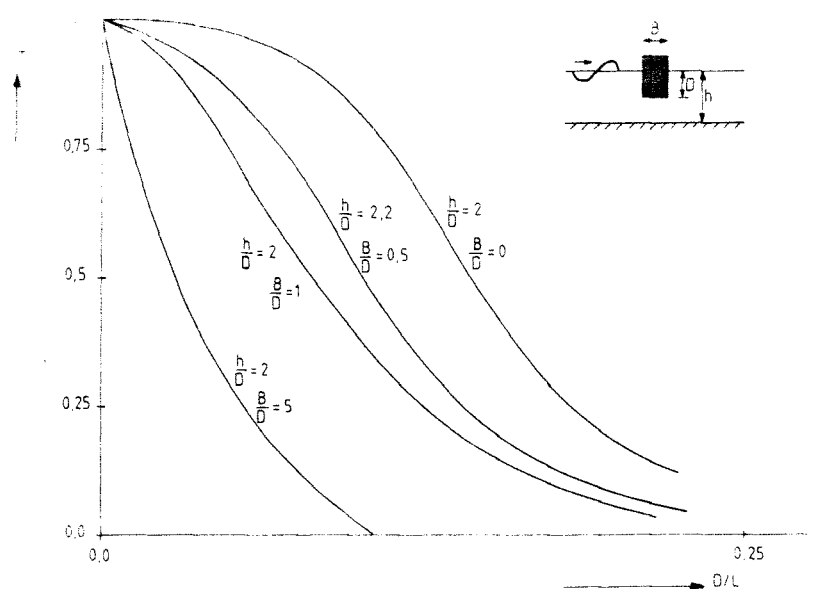


Fig. 4.3.5. Berekenende transmissiecoëfficiënten van een aantal vaste constructies (diep water theorie).

Uit voorgaande blijkt dat gecombineerde dempingsmechanismen beter kunnen dempen dan de mechanismen afzonderlijk. In figuur 4.3.5 is dit nog eens weergegeven voor een vaste constructie waarbij zowel

vertikale als horizontale reflectie optreedt (de betreffende transmissiecoëfficiënten zijn berekend uitgaande van diep water omstandigheden). Ook drijvende constructies met een groot massa-traagheidsmoment en een zekere diepgang kunnen beter dempen dan een vaste verticale plaat met alleen die diepgang.
(Zie figuur 4.3.6).

In het voorgaande zijn de dempingsmechanismen absorptie en interferentie nog niet aan de orde geweest. De benodigde afmetingen van een absorberende constructie zijn in het algemeen groter dan van reflecterende of dissiperende constructies. In de praktijk reflecteren op absorptie gerichte constructies ook. Daardoor wordt de demping wat beter. Een absorberende constructie heeft als nadeel dat de krachten door de constructie opgenomen moeten worden. Zo'n constructie wordt daardoor sterk op vermoeiing belast.

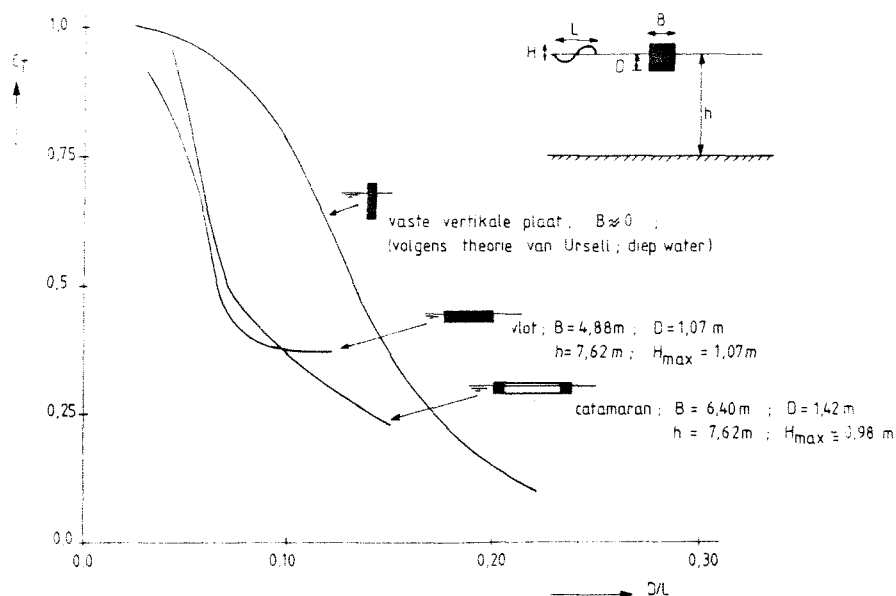


Fig. 4.3.6. Transmissiecoëfficiënten van een vaste verticale plaat en twee drijvende constructies.

Interferentie als dempingsmechanisme kan zijn nut hebben als het wordt toegepast in een constructie samen met reflectie: teruggekaatste en inkomende golven kunnen elkaar uitdempen.

Om te bepalen welke "breedte" constructie met de kleinste afmetingen kan volstaan zijn in figuur 4.3.7 nogmaals de transmissiecoëfficiënten weergegeven van een aantal constructies: vier constructies met overwegend één dempingsmechanisme (a: verticale reflectie; b: verticale reflectie; c: dissipatie; g: absorptie) en drie constructies met twee dempingsmechanismen (d: dissipatie + enige horizontale reflectie; e: dissipatie + horizontale reflectie; f: dissipatie + horizontale reflectie, zie figuur 4.3.8).

Uit figuur 4.3.7 blijkt de Pipe-Tire constructie met grote relatieve diepgang verreweg de kleinste breedte te hebben. Daarna volgen (bij $C_T = 0,15$): de geperforeerde plaat, de vaste dichte plaat, de Pipe-Tire constructie met de geringe relatieve diepgang, de Goodyear constructie en de drijvende dichte plaat. Absorberende constructies (drijvende matten) moeten minstens even breed zijn als een drijvende dichte plaat om dezelfde demping te bewerkstelligen.

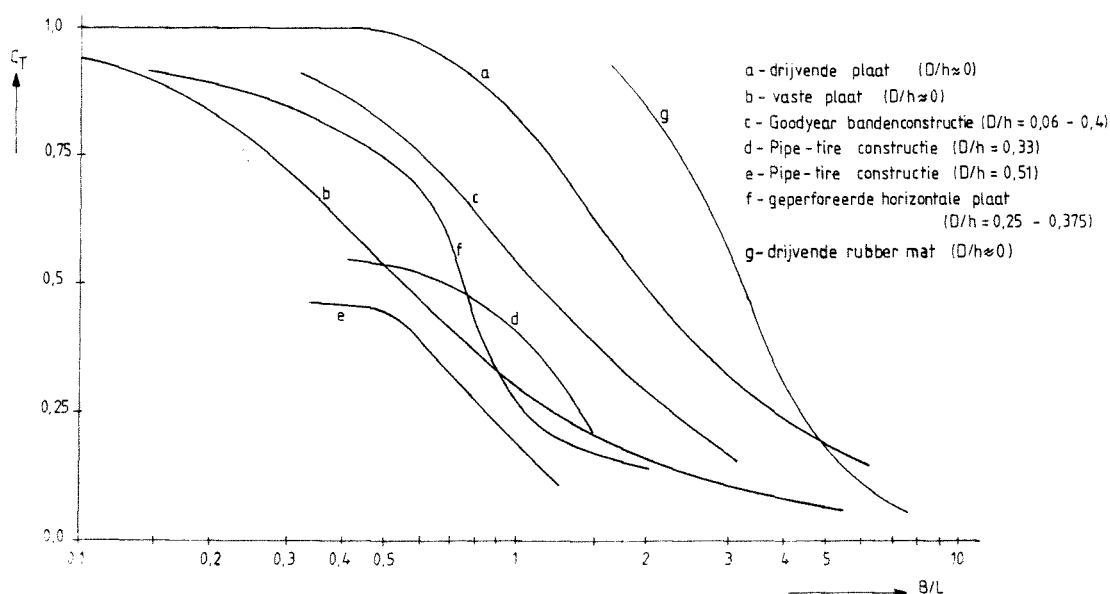


Fig. 4.3.7. Vergelijking tussen de transmissiecoëfficiënten van een aantal constructies.

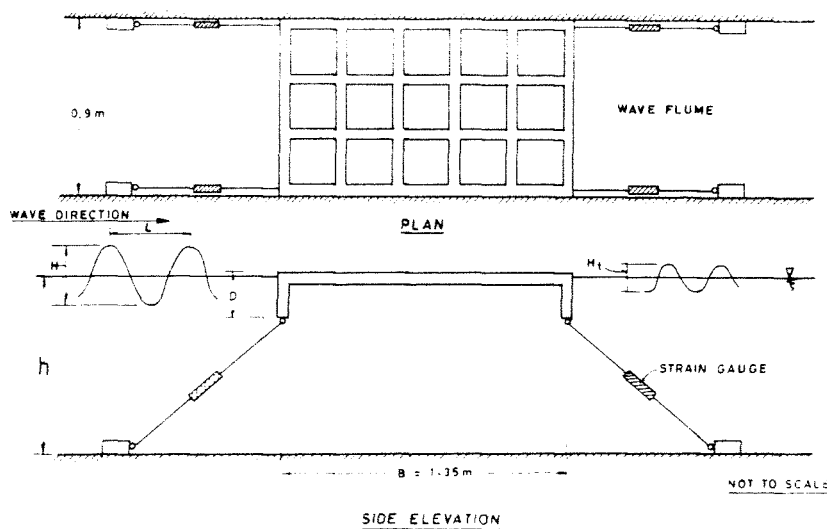


Fig. 4.3.8. Geperforeerde stijve plaat.

Conclusies

Als golfdempende constructies uitsluitend op dempende werking en op te gebruiken hoeveelheid constructiemateriaal worden beoordeeld, dan voldoen constructies die voornamelijk dempen door horizontale reflectie het beste (als één dempingsmechanisme wordt beschouwd). Aan dergelijke constructies kleven echter ook nadelen. Zo kan, t.g.v. de grote relatieve diepgang de wateruitwisseling tussen de gebieden voor en achter de constructies onvoldoende zijn. Verder is een probleem dat opgewekte krachten (groot in het geval van reflectie) volledig naar de verankering afgevoerd worden. De constructies moeten daar op gedimensioneerd worden.

Van de onderzochte breedteconstructies hebben constructies met dissipatie veelal een betere dempende werking dan constructies met verticale reflectie of absorptie (bij een zelfde breedte). De betere demping is vooral een gevolg van het ook optreden van horizontale reflectie bij de dissiperende constructies. Nadeel van de breedteconstructies is de grote hoeveelheid benodigd materiaal.

De benodigde breedte (hoeveelheid materiaal) kan dus gereduceerd worden door in een constructie meerdere dempingsmechanismen te combineren. Het effect is in het algemeen echter moeilijk te kwantificeren.

Daarom is eigenlijk voor iedere constructie specifiek onderzoek nodig. Daarbij kan de constructie niet losgezien worden van de omgeving waarin deze geplaatst gaat worden.

In zo'n onderzoek moeten dus een groot aantal facetten aan de orde komen:

- a - golfdempende werking, met name bij toepassing van constructies met een combinatie van dempingsmechanismen (van constructies met één dempingsmechanisme is al vrij veel bekend, zie het literatuuronderzoek).
- b - invloed van scheef invallen van de golven op demping en krachtwerking:
 - * enerzijds is bij scheef invallen van de golven veelal de effectieve breedte van de constructie groter dan bij loodrecht invallen, zodat de golven in principe beter gedempt worden, anderzijds wordt het bewegingspatroon van de constructie erg ingewikkeld (6 vrijheidsgraden) en wat de invloed daarvan is op de demping is niet bekend.
 - * bij scheef invallen van de golven is door het ingewikkelde bewegingspatroon moeilijk (of niet) te bepalen wat de krachtwerking zal zijn op de verankering.
- c - verankeringswijze en invloed daarvan op demping en krachten. Met name is meer onderzoek nodig naar het effect van samenvallen van optredende golffrequenties met eigenfrequenties van de constructie.
- d - ruimtewerking:
 - * bij onvoldoende lengte van de constructie in de richting loodrecht op de golfvoortplantingsrichting kan door bijvoorbeeld diffractie of scheef invallen van de golven het schaduwgebied (=gebied met gedempte golven) achter de constructie erg klein worden.
 - * bij een grote afstand van de constructie tot een tegen golven te beschermen oever kunnen de (gedempte) golven door de wind weer aangroeien.

4.4. VEELBELOVENDE CONSTRUCTIES

4.4.1. Inleiding

Aan de hand van het voorgaande kunnen van een aantal veelbelovende constructies de afmetingen worden bepaald. Dit gebeurt voor twee waarden van de transmissiecoëfficiënt: $C_T = 0,5$ en $C_T = 0,15$ (zie paragraaf 4.2). In die gevallen waarin constructies moeilijk te vergelijken zijn met eerder onderzochte constructies, is de bepaling van de afmetingen niet meer dan een grove schatting. Voor een nauwkeuriger bepaling zullen model- en/of prototypeproeven met de betreffende constructies moeten worden uitgevoerd.

Uitgaande van de afmetingen kunnen schattingen worden gemaakt van de kosten van de constructies. Afmetingen en kosten kunnen dan als criteria worden gebruikt bij de keuze van een golfdepende constructie.

4.4.2. Afmetingen

Van een zestal constructies worden de afmetingen bepaald (voor een te dempen golf met hoogte $H = 1,0\text{m}$ en lengte $L = 18\text{m}$, bij een waterdiepte $h = 1,75\text{m}$):

- 1 - golfscherm
- 2 - stijve dissiperende constructie
- 3 - flexibele dissiperende constructie
- 4 - vlot
- 5 - drijvend mosselveld
- 6 - dam van betonnen elementen

Ad 1 - Golfscherm

Als golfscherm wordt een aan palen bevestigde verticale wand gebruikt, met aan de onderzijde een opening voor de wateruitwisseling (figuur 4.4.2.1).

Voor $C_T = 0,5$ neemt de constructie ca.72% van de waterdiepte in beslag (figuur 4.3.1). Bij een waterdiepte van 1,75m betekent dit, dat de diepgang van het scherm minstens 1,25m moet zijn.

Voor $C_T = 0,15$ voldoet een golfscherm qua wateruitwisseling niet, omdat dan een te groot deel van de waterdiepte (ca.96%, zie figuur 4.3.1). in beslag wordt genomen. Daarom wordt voor dit geval gekozen voor een combinatie van een scherm met een stenen dammetje (figuur 4.4.2.2). De dam zal voor enige demping zorgen en een deel van de golfenergie naar het scherm leiden. Daardoor zal het scherm meer dempen. Of de gewenste demping inderdaad wordt verwezenlijkt zal nader moeten worden onderzocht.

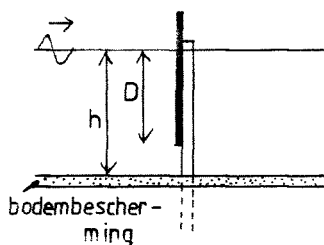


Fig. 4.4.2.1. Vertikale wand.

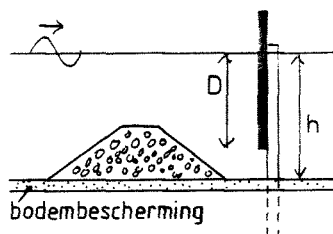


Fig. 4.4.2.2. Vertikale wand met grinddam.

In bijlage 1 is een en ander uitgewerkt.

Ad 2 - Stijve dissiperende constructie

In figuur 4.3.7 is van een aantal dissiperende constructies het verloop van de transmissiecoëfficiënt gegeven. De relatief stijve constructies d, e en f hebben een transmissiecoëfficiënt $C_T = 0,5$ voor $0,3 < B/L < 0,75$ en $C_T = 0,15$ voor $1 < B/L < 1,75$. Door de combinatie van dissiperende elementen, massatraagheidsmoment en stijfheid van de constructie te optimaliseren kunnen de afmetingen waarschijnlijk beperkt worden. In figuur 4.4.2.3 is een schets gegeven van zo'n constructie, opgebouwd uit stalen en houten balken.

Voor de bepaling van de constructiebreedte wordt uitgegaan van de C_T - kromme van de plaat uit figuur 4.3.8. Deze kromme is nog eens weergegeven in figuur 4.4.2.4.

$$C_T = 0,5 : B = 0,75 \quad L = 13,5\text{m}$$

$$C_T = 0,15 : B = 1,7 \quad L = 30\text{m}$$

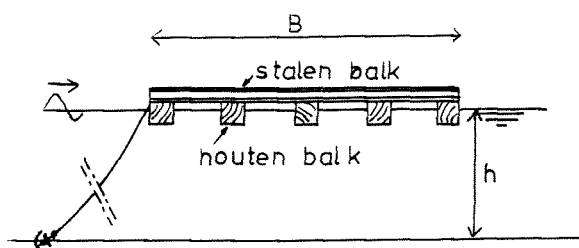


Fig.4.4.2.3. Stijve dissiperende constructie.

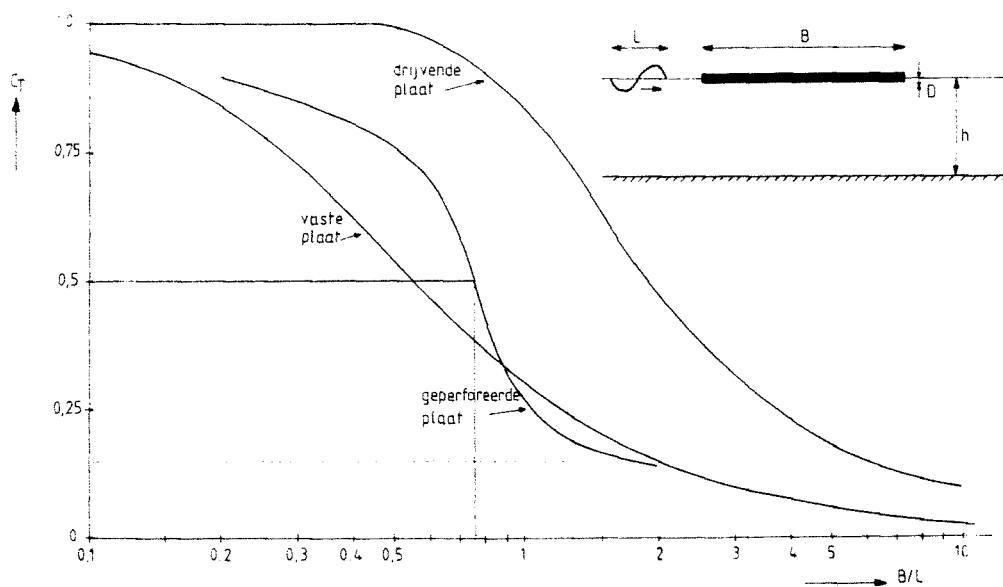


Fig.4.4.2.4. Bepaling breedte van een stijve dissiperende constructie.

Aangenomen wordt dat door optimalisatie de breedte nog iets gereduceerd kan worden. Voor $C_T = 0,5$ tot ca. 11m en voor $C_T = 0,15$ tot ca. 25m.

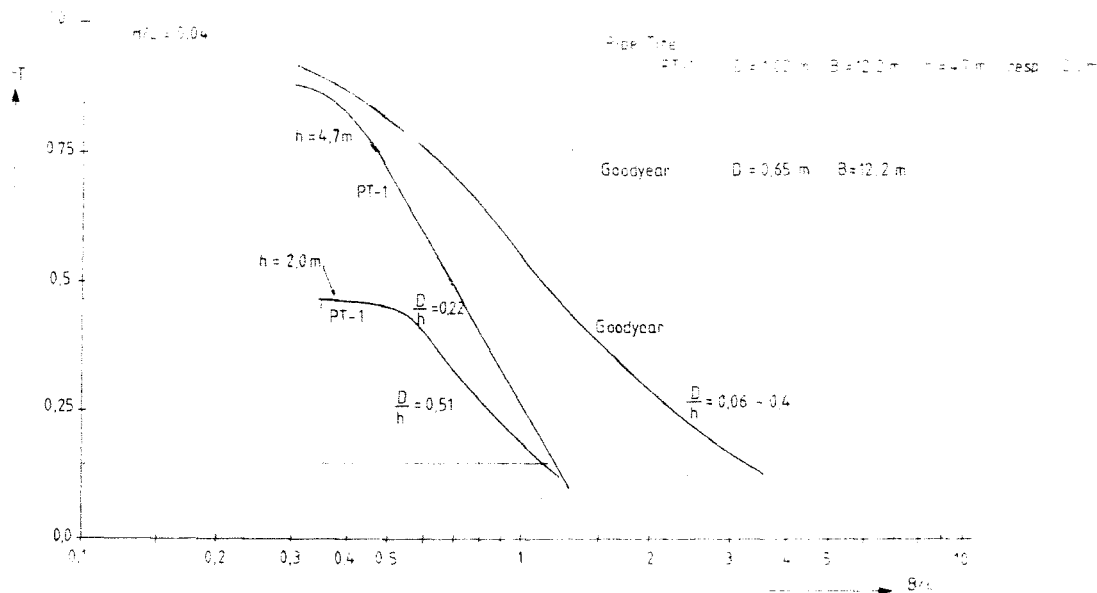


Fig. 4.4.2.5. Bepaling breedte van een bandenconstructie.

Ad 3 - Flexibele dissiperende constructie

Als flexibele dissiperende constructie wordt gekozen voor een autobandenconstructie volgens het Pipe-Tire model (figuur 3.4.4; werking: figuur 4.4.2.5). Gebruik wordt gemaakt van vrachtautobanden met een diameter van ca. 1m. Voor een waterdiepte van 1,75m is daardoor de relatieve diepgang $D/h = 0,57$.

Door een iets grotere relatieve diepgang zal de demping iets beter zijn. Ook de B/D -verhouding is anders dan in de proeven. Een grotere B/D -verhouding zal iets gunstiger zijn en een kleinere iets minder gunstig. Derhalve:

- voor $C_T = 0,5$: $B = 7,5\text{m}$ ($B/L = 0,4$)
- voor $C_T = 0,15$: $B = 18\text{m}$ ($B/L = 1,0$)

Ad 4 - Vlot

Als gebruik wordt gemaakt van een vlot, moet voor een goede demping de diepgang relatief groot zijn, evenals het massatraagheidsmoment. Vlotten die hieraan voldoen zijn constructies van beton met een holle of met polystyreen gevulde kern. De transmissiecoëfficiënten van twee van zulke constructies zijn weergegeven in figuur 4.4.2.6 (vlot en catamaran).

Die waarden zijn bepaald in diep water, met slappe verankeringen. Dat betekent dat dergelijke constructies in ondiep water door hun relatief grote diepgang beter zullen kunnen dempen. Of anders gezegd: voor dezelfde C_T kan in ondiep water met kleinere constructies (kleinere breedte of kleinere diepgang) worden volstaan dan in diep water.

Ook kan, door een relatief stijvere verankering, de werking nog verbeteren. Daarbij moet wel rekening worden gehouden met mogelijke resonantie als de eigen frequentie van de constructie in de buurt ligt van de optredende golffrequenties. Hierdoor kunnen grote ankerkrachten optreden.

Voor $C_T = 0,5$ wordt gedacht aan een vlot met een breedte van 5m, een hoogte van 1m en een diepgang van ca. 0,75m.

Voor $C_T = 0,15$ wordt gedacht aan een vlot van het catamarantype met een breedte van 5,75m en een diepgang van 1,0m, (glijdend) bevestigd aan palen.

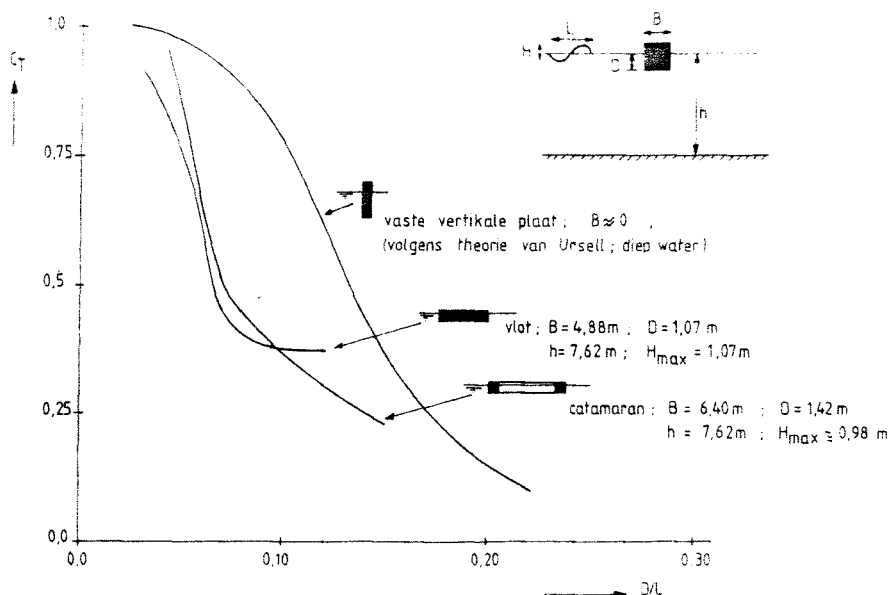


Fig. 4.4.2.6. Bepaling breedte van betonvloten.

Ad 5 - Drijvend mosselveld

Een mogelijk veelbelovende alternatieve constructie is een drijvend mosselveld: tussen een frame van stalen buizen wordt een net gespannen waarop mosselen kunnen groeien. De mosselen werken dan als dissiperende elementen, op een soortgelijke manier als banden in een bandenconstructie. Het buizenframe dient voor het op zijn plaats houden van het net en voor de nodige stabiliteit: door de drijflichamen zover mogelijk uit elkaar te plaatsen wordt een relatief groot massatraagheidsmoment verkregen. In figuur 4.4.2.7 is een en ander geschetst.

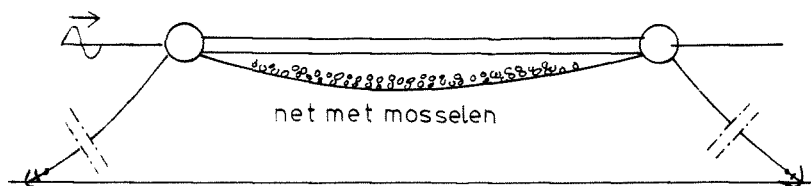


Fig. 4.4.2.7. Drijvend mosselveld.

De golfdempende werking zal deels worden verkregen door verticale reflectie tegen de relatief dichte laag mosselen, deels door dissipatie door verstrooiing van de energie rondom de vele mosselen en deels door horizontale reflectie tegen de voorkant van de constructie (de horizontale cilinder). De laatste bijdrage (horizontale reflectie) zal vrij gering zijn.

Dat blijkt uit proeven die zijn gedaan voor vaste cilinders (figuur 4.4.2.8). Voor de gegeven omstandigheden (golflengte is 18m, cilinderbreedte is orde 1m.) is de transmissiecoëfficiënt van een vaste cilinder erg groot: $C_T \approx 0,95$.

Daardoor zal de demping vooral bepaald worden door verticale reflectie en dissipatie. Een vergelijking met het catamaran betonvlot gaat minder goed op, omdat dat een relatief stijf verankerde constructie is (direct aan palen), en het mosselvlot een relatief slap verankerde constructie (aan kabels).

Vermoedelijk is de mate van demping van dezelfde orde als die van een bandenconstructie (bij vergelijkbare afmetingen). Vanwege de grote onzekerheid in de demping wordt hier aangehouden: $B = 10a$ voor $C_T = 0,5$ en $B = 20a$ voor $C_T = 0,15$. Een schatting voor de C_T - kromme is weergegeven in figuur 4.4.2.9.

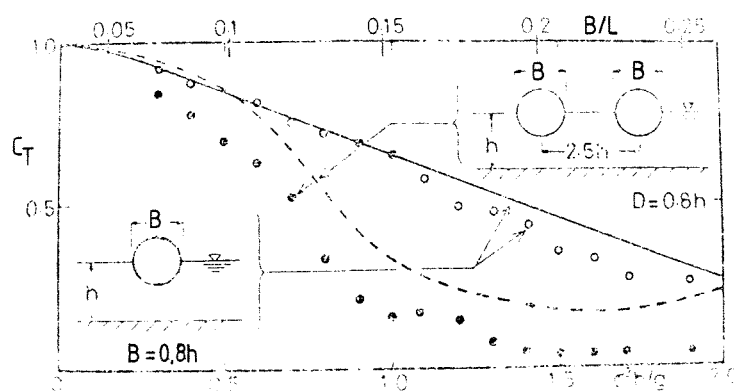


Fig. 4.4.2.8. Transmissiecoëfficiënt van vaste (onbeweeglijke) cilinders.

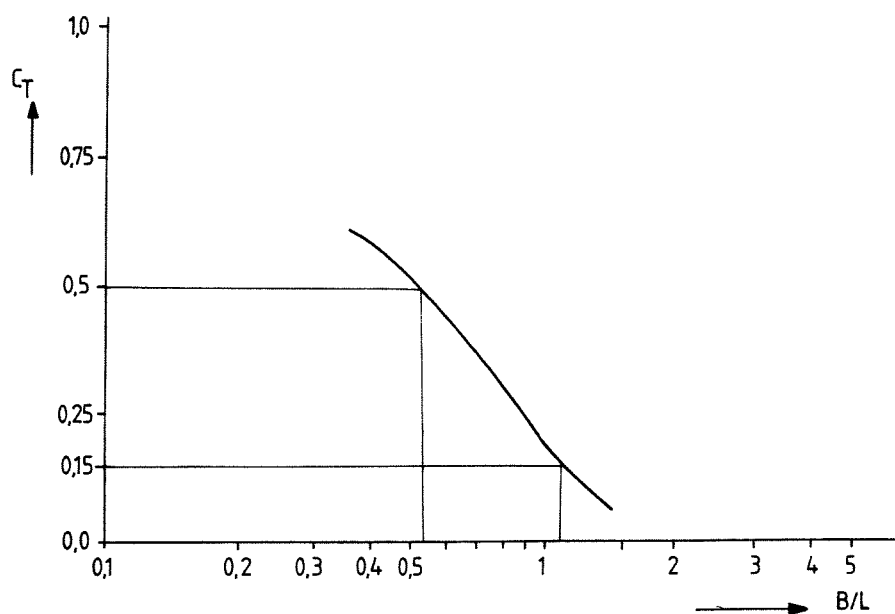


Fig. 4.4.2.9. Schatting C_T -waarden van drijvend mosselveld.

Ad 6 - Dam van betonnen elementen

Een dam van betonnen elementen valt eigenlijk buiten het kader van deze studie, omdat het een zogenaamde harde constructie betreft. Deze constructie is meegenomen in het verhaal als vergelijkings-object.

Uit onderzoeken naar reflecterende wanden is naar voren gekomen dat dergelijke wanden met een openingspercentage van ca. 25% een transmissiecoëfficiënt kunnen hebben die tussen 0,4 en 0,75 ligt (zie figuur 3.2.3).

Door nu twee wanden met zo'n opening achter elkaar te plaatsen zal naar alle waarschijnlijkheid de transmissiecoëfficiënt afnemen. Daarom wordt voor $C_T = 0,5$ gekozen voor betonnen "dozen" met in de voor- en achterwand een gat dat 25% van de wand in beslag neemt. (Zie figuur 4.4.2.10). Door de voor- en achterwand met dwarswanden aan elkaar te koppelen worden stabiele elementen verkregen die direct op de bodem (of op een funderingsbed) kunnen worden geplaatst.

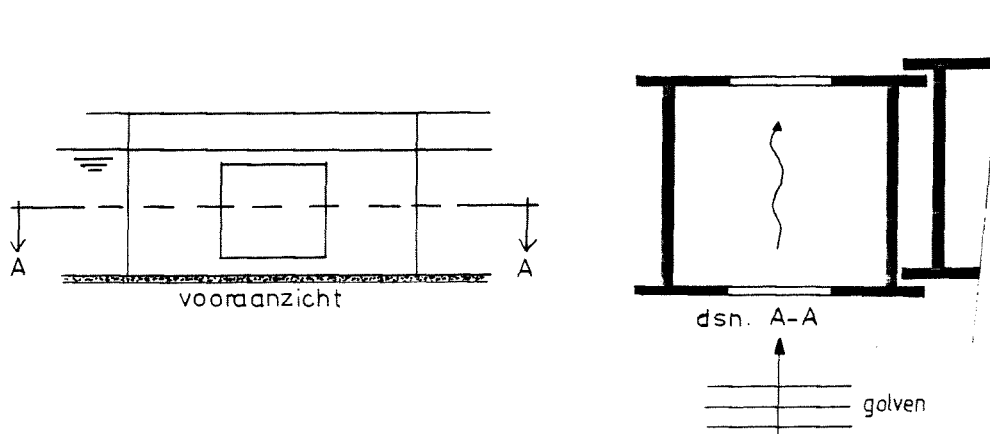


Fig. 4.4.2.10. Betonnen elementen.

Voor $C_T = 0,15$ wordt gekozen voor een constructie met extra tussenwanden in de constructie, waarbij tevens de energiestroom omgeleid wordt (zie figuur 4.4.2.11). Of een dergelijke constructie inderdaad de golfhoogte met 85% reduceert, én voldoende wateruitwisseling toelaat, zal uit proeven moeten blijken.

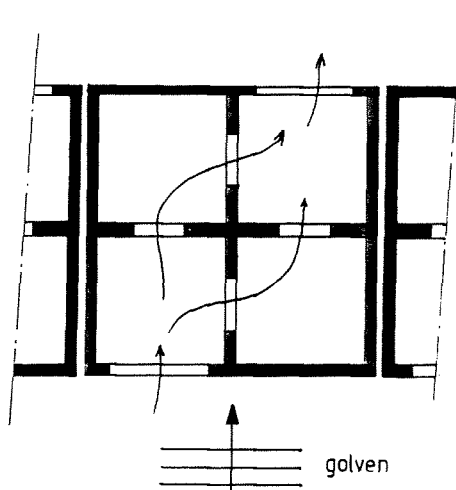


Fig. 4.4.2.11. Betonnen elementen (horizontale doorsnede).

4.4.3. Kostenaspecten

In tabel 4.4.3.1. wordt een overzicht van de aanlegkosten van de in paragraaf 4.4.2 behandelde constructies gegeven. De constructies zijn nader uitgewerkt in bijlage 1.

Het merendeel van de drijvende constructies is duur, vanwege de grote hoeveelheid materiaal die nodig is voor een goede demping (grote benodigde breedte B). Daarnaast kan ook het samenstellen van de constructie de prijs flink opdrijven. Een goed voorbeeld daarvan is de bandenconstructie: ondanks dat met afvalmaterialen (oude banden) wordt gewerkt, is het een van de duurste constructies.

De "reflectie" constructies (constructies 1 en 6) zijn door het geringe materiaalgebruik relatief goedkoop. In mindere mate geldt dit ook voor de drijvende betonconstructie (constructie 4).

Als zevende constructie is een grind/stortsteendam toegevoegd. Deze dient als referentieconstructie. Dergelijke constructies worden uitgebreider behandeld in hoofdstuk 6 en in een deel 3 van dit rapport.

Vlg.nr.	Constructietype	Kosten in guldens per m ² oever		
		golfdemping		
		$C_T = 0,5$	$C_T = 0,15$	$C_T \approx 0$
1 A	Golfscherm met bodembescherming	2.350,-		
1 B	Golfscherm met grinddlaan		2.460,-	
2	Vlot van houten en stalen balken	7.466,-	11.400,-	
3	Drijvende auto-banden constructie	6.054,-	9.863,-	
4 A	Vlot van beton volgeschuimd met polystyreen	4.000,-		
4 B	Vlot van beton catamarantype		3.500,-	
5 A	Vlot van stalen buizen (catamaran) met tussenhangend mosselveld	5.760,-		
5 B	Vlot van stalen buizen (trimaran) met tussenhangend mosselveld		8.550,-	
6 A	Open betonelementen (type 1) op bodembescherming	2.285,-		
6 B	Open betonelementen (type 2) op bodembescherming		2.555,-	
7	Grind/stortsteen dam (referentieconstructie)			1.600,-

Tabel 4.4.3.1. Kosten golfdempende constructies.

5. GOLFDEMPENDE CONSTRUCTIES IN GETIJGEBIEDEN

5.1 Inleiding

In getijgebieden zijn normaal gesproken oevers en plaatranden in een dynamisch evenwicht: op lange termijn wordt gemiddeld door de getijbeweging evenveel zand aangevoerd, als door golven en stroming wordt afgevoerd.

Dat gaat op, zolang de getijomstandigheden niet veranderen. Op de Oosterschelde echter zal in de nabije toekomst het getij gereduceerd worden door de bouw van de stormvloedkering in de monding. Een gevolg daarvan zal zijn dat het Oosterschelde-bodenprofiel zal vervlakken: de geulen worden ondieper en de platen nemen in omvang af.

Gewenst wordt echter het areaal aan platen met hun vooroevers zoveel mogelijk in stand te houden in verband met de belangrijke natuurfuncties van het gebied: o.a. fourageerplaatsen voor vogels. Daarom zal plaaterosie moeten worden tegengegaan, door vermindering van de golfaanval.

In principe zullen golfdempingsmechanismen die in stagnante bekkens goed voldoen, ook in getijgebieden goede resultaten te zien geven. Vertaling van deze mechanismen naar constructies zal, door de variërende waterstanden, vooral gevolgen hebben voor de verankeringswijzen.

Op verschillende tijdstippen van de getijcyclus zal de golfdemping verschillen.

5.2 Randvoorwaarden voor golfdempende constructies in de Oosterschelde

Enkele eisen waaraan golfdempende constructies in getijgebieden moeten voldoen, zijn:

- maximale golfdemping bij minimale constructieafmetingen,
- minimale kosten.

De eis van voldoende wateruitwisseling die geldt voor constructies in stagnante bekkens is nu niet van belang. In getijgebieden komt wel nadruk te liggen op de overlevingsomstandigheden voor de constructies: extreme waterstanden en golfhoogten waarbij de constructies niet kapot mogen gaan.

Voor de verankering van de constructie moet worden gerekend met een getijrange van 5m: van N.A.P.- 2,0m tot N.A.P.+ 3,0m. Het gebied dat beschermd moet worden tegen de golven ligt tussen N.A.P.- 1,5m en N.A.P.+ 2,0.: een range van 3,5m.

Daarbij dient opgemerkt te worden dat de meeste afslag plaats vindt tussen N.A.P.- 1,5m en N.A.P. Dat betekent, dat vooral dat gebied goed beschermd moet worden tegen de golven. De hoogte van de te dempen golven is

$H = 0,8 \text{ à } 1,5\text{m}$ (periode $T \approx 4\text{s}$, lengte $L \approx 25\text{m}$).

De grootte van de benodigde golfdemping is niet bekend, daarvoor moet meer onderzoek worden gedaan naar de relatie tussen golfhoogte en oeverafslag. Verondersteld wordt dat minimaal 50% reductie van de golfhoogte ($C_T < 0,5$) nodig is om erosie te voorkomen.

5.3 Toepasbare golfdempende constructies

In voorgaande hoofdstukken is gebleken dat vooral constructies die dempingsmechanismen combineren goed dempen: horizontale reflectie gecombineerd met dissipatie, of horizontale reflectie gecombineerd met verticale reflectie (en een groot massatraagheidsmoment).

Bij dergelijke drijvende constructies speelt de relatieve diepgang D/h van de constructies een belangrijke rol bij de demping: naarmate de relatieve diepgang toeneemt wordt demping beter.

In getijgebieden waar de waterdiepte, en dus ook de relatieve diepgang, voortdurend varieert, is het daarom van belang het verloop van de transmissiecoëfficiënt als functie van de waterdiepte te kennen.

Voordat tot bepaling van de transmissiecoëfficiënten van een aantal constructies wordt overgegaan, wordt eerst nagegaan waar de constructies het beste geplaatst kunnen worden. In het voorgaande is gebleken dat afslag vooral plaatsvindt in het gebied van de laagwaterlijn (N.A.P.- 1,50m) tot 1,50m daarboven (N.A.P.).

Een constructie sorteert dan het meeste effect als deze wordt geplaatst bij de laagwaterlijn: golfgroei door de wind van de gedempte golven wordt dan zoveel mogelijk voorkomen.

Nadeel van plaatsing bij de gemiddelde laagwaterlijn is dat de constructie regelmatig zal droogvallen. Dit kan bij een stijve constructie, door ongunstige oplegpunten, ongewenste spanningen in de constructie tot gevolg hebben. In het ontwerp zal daarmee rekening moeten worden gehouden.

Voordeel is dat, zolang de constructie op de bodem ligt, praktisch geen golftransmissie plaats zal vinden. De transmissie gaat pas toenemen nadat de constructie is gaan drijven.

Gezien de qua golfdemping gunstige plaats, wordt aangenomen dat een golfdempende constructie bij de gemiddelde laagwaterlijn zal worden geplaatst.

In het navolgende wordt van een viertal constructies het verloop van de transmissiecoëfficiënt met de waterdiepte bepaald (voor een golflengte $L = 25\text{m}$):

- a - een stijve verticale plaat bevestigd aan palen,
- b - een betonvlot (gevuld met polystyreen i.v.m. voldoende drijfvermogen),
- c - een Pipe-Tire constructie,
- d - een drijvend bulzenframe (catamaran type) met daaraan hangend zgn. mosselworsten.

Voor de constructies a t/m c is gekozen, omdat daarvan de transmissiecoëfficiëntentent te berekenen zijn (type a), of uit metingen af te leiden zijn (typen b en c). Het frame met mosselen (type d) is een multifunctionele constructie.

Ad a

De transmissiecoëfficiënt wordt berekend (met de formule van Wiegel (1960)) voor een plaat met een diepgang van 1m.

De bevestiging van de plaat aan palen is zodanig, dat alleen verticale bewegingen mogelijk zijn.

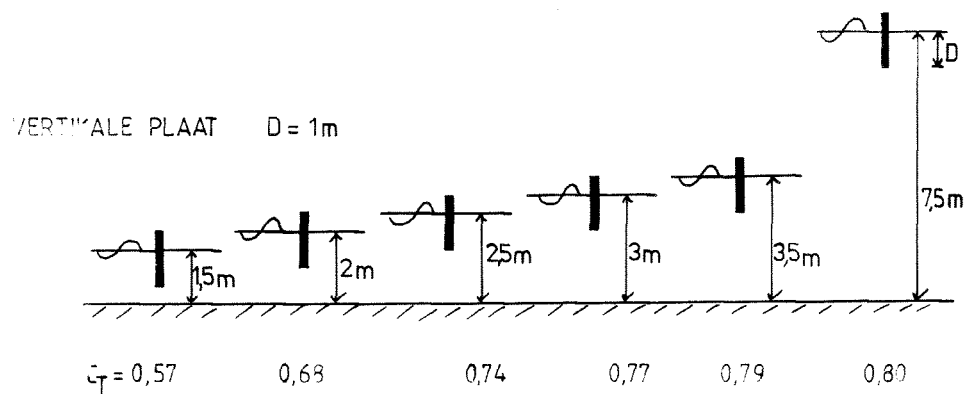


Fig. 5.3.1. Transmissiecoëfficiënten van een verticale plaat.

Een andere constructieve oplossing is het zgn. A-frame (literatuurstudie, par. 4.7).

Ad b

Voor de bepaling van de transmissiecoëfficiënten van een met polystyreen gevuld betonvlot (voor voldoende drijfvermogen, ook na lekslaan) wordt uitgegaan van metingen van Carver (1979). Voor een vlot met een hoogte van 1,5m., een diepgang van 1,0m en een breedte van 5,0m is de transmissiecoëfficiënt $C_T = 0,8$ (voor $B/L = 0,2$).

Deze waarde is gemeten bij een waterdiepte van $25\text{ft} \approx 7,5\text{m}$.

Aan de hand van die C_T - waarde zijn de waarden voor de andere waterdiepten geschat (zie figuur 5.3.2).

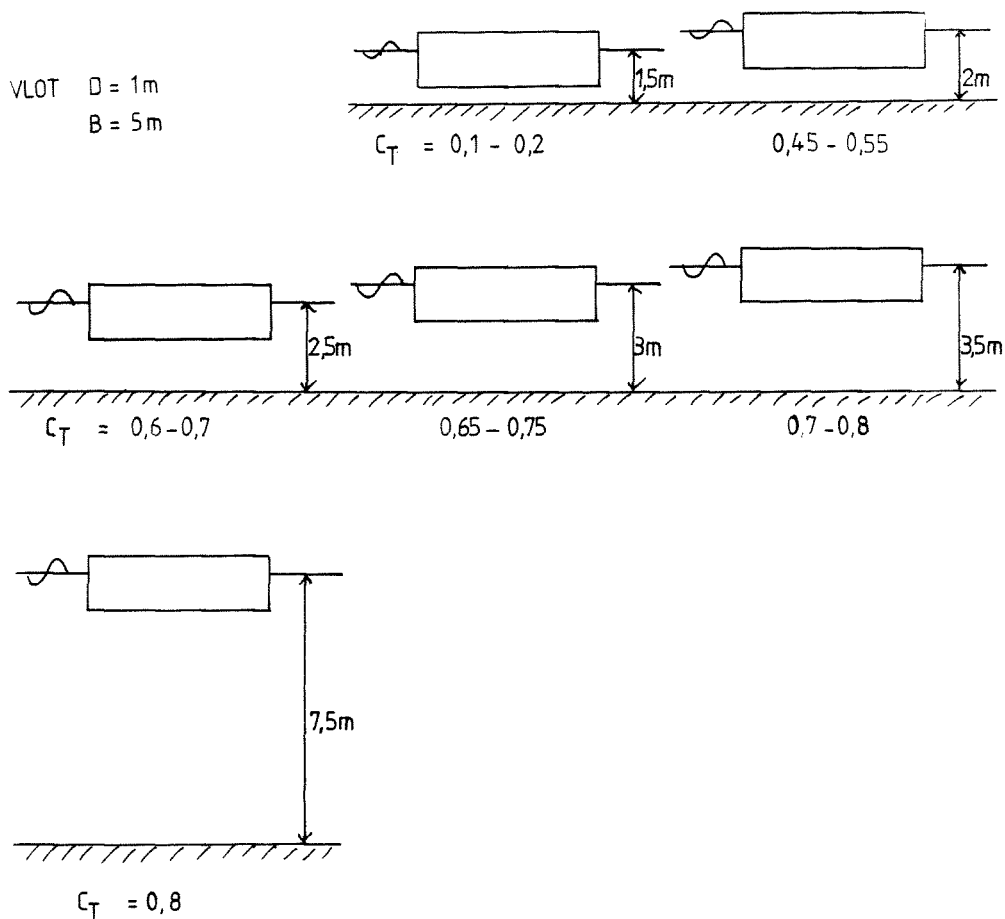


Fig. 5.3.2. Transmissiecoëfficiënten van een vlot (schattingen)

Ad c

De gekozen bandenconstructie is opgebouwd volgens het Pipe-Tire model. De banden hebben een diameter van ca. 1m. De diepgang van zo'n constructie is ook ongeveer 1m.

De constructie heeft een breedte van 15m ($B/L = 0,6$).

Voor de bepaling van C_T is gebruik gemaakt van metingen van Harms et al (1982). Harms heeft metingen verricht bij waterdiepten van 2m en 4,7m. De in figuur 5.3.3 weergegeven waarden zijn verkregen door lineaire interpolatie.

Door zijn flexibiliteit is een dergelijke constructie beter geschikt om droog te vallen dan een stijve constructie.

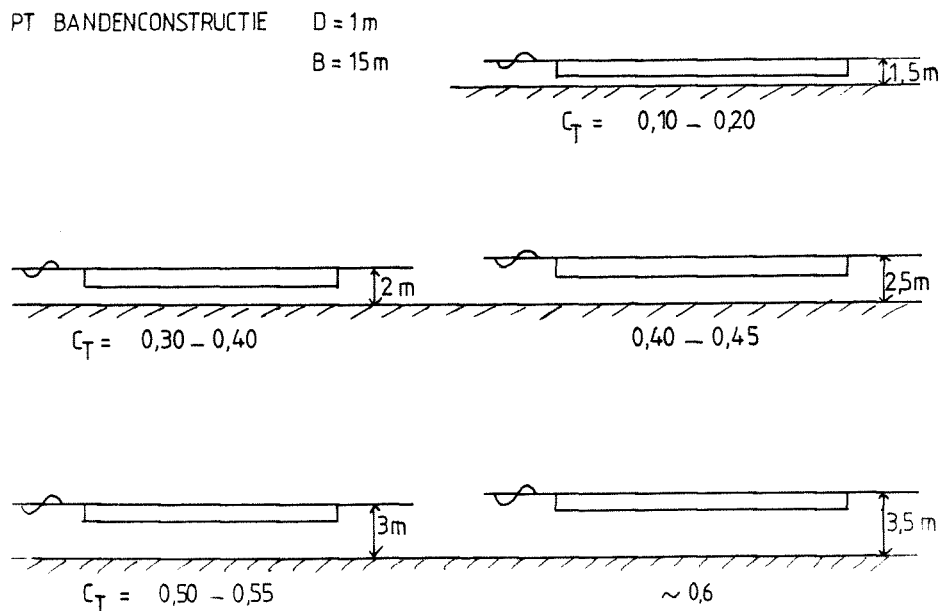


Fig. 5.3.3. Transmissiecoëfficiënten van een bandenconstructie (metingen).

Ad d

Uit praktische-en kostenoverwegingen kan gekozen worden voor een constructie met meerdere functies: golfdamping, aanleg/vissteiger, mosselteelt, enz. Hier wordt een constructie beschouwd die voor golfdamping en mosselteelt gebruikt zou kunnen worden: aan een drijvend frame worden kunststof kousen met daarin mossels (mosselworsten) opgehangen. Dit is schematisch weergegeven in figuur 5.3.4.

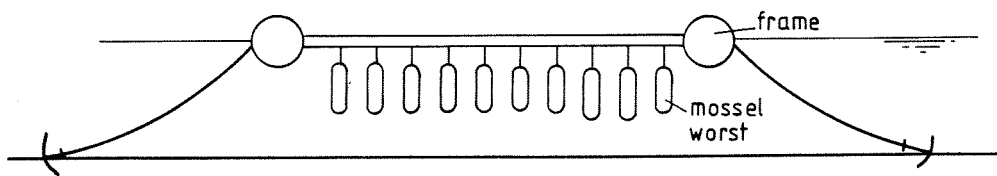


Fig. 5.3.4. Frame met mosselworsten.

Een goede afschatting van de transmissiecoëfficiënt is moeilijk te geven omdat geen resultaten bekend zijn van zo'n constructie. Getracht wordt om toch redelijke waarden te vinden, uitgaande van theoretische achtergronden en metingen, verricht bij andere constructies. In Wiegel (1964) is voor meerdere achter elkaar geplaatste palenrijen gevonden dat $C_T \approx 0,5$ voor een totale constructiebreedte van ongeveer de golflengte.

Enerzijds zal door de grotere flexibiliteit van de mosselworsten de golftransmissie kunnen toenemen, anderzijds zal tegen de voorkant van het frame extra golfenergie kunnen reflecteren.

Worden de drijvende PT-bandenconstructies als referentie gebruikt, dan zal vermoedelijk het dissiperend vermogen van de mosselconstructie wat minder zijn door het relatief lage soortelijk gewicht van de mossels (lager dan van rubber).

Waarschijnlijk zal het golfdempende vermogen van de mosselconstructie van dezelfde grootte-orde zijn als dat van een (Good Year) bandenconstructie bij vergelijkbare afmetingen.

In figuur 5.3.5 zijn schattingen weergegeven voor de transmissiecoëfficiënt bij verschillende waterdiepten.

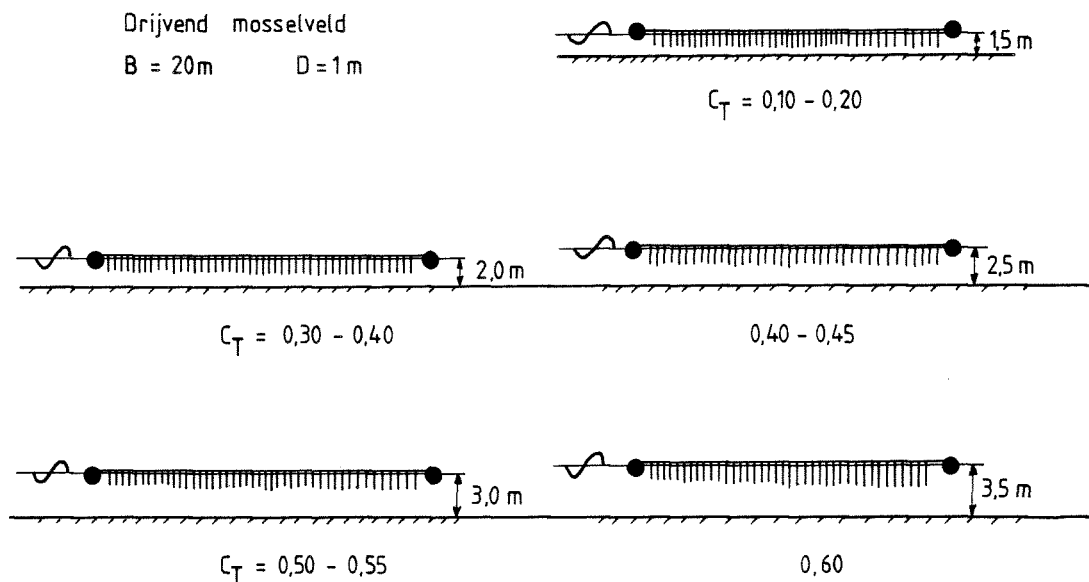


Fig. 5.3.5. Transmissiecoëfficiënten van een drijvend mosselveld.

In figuur 5.3.6 zijn de transmissiecoëfficiënten van de vier constructies bij elkaar gezet. Bij de gegeven constructieafmetingen voldoen de bandenconstructie en de mosselconstructie het beste, al moeten ook deze constructies nog groter zijn om bij alle voorkomende waterdiepten (tot 3,5m) een $C_T < 0,5$ te hebben. Een PT-constructie met een breedte van 18 - 20m zal zeker voldoen. Het betonvlot zal waarschijnlijk bij een tweemaal zo grote breedte ($B = 10m$) voldoen. Effectiever is het echter om het vlot een grotere diepgang te geven (zo lang de stabiliteit tijdens drijven niet in gevaar komt).

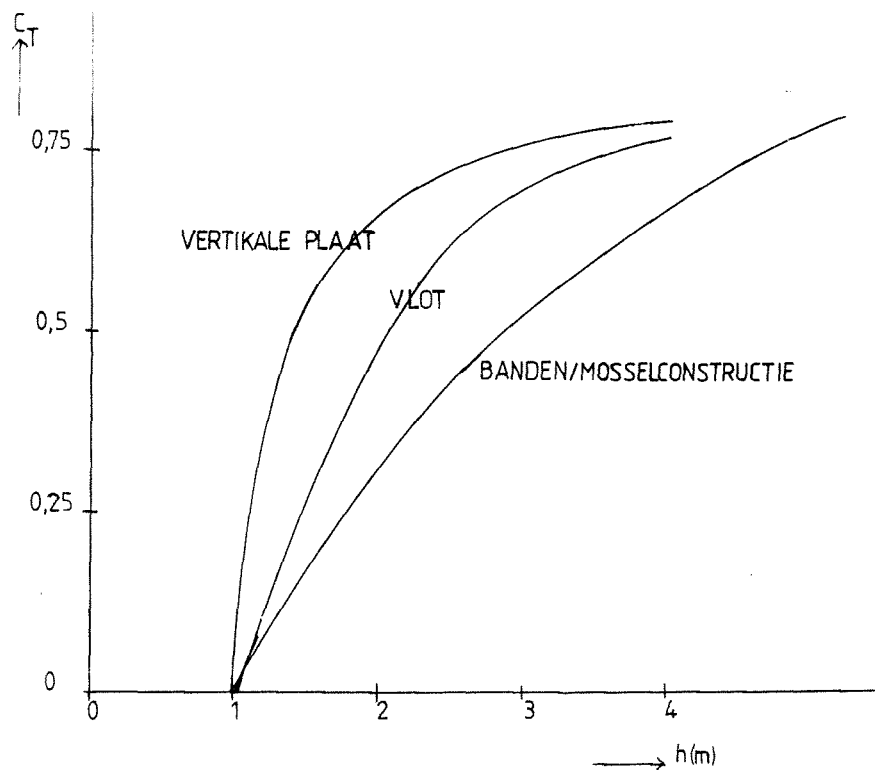


Fig. 5.3.6. Transmissiecoëfficiënten van een viertal golfdempende constructies als functie van de waterdiepte.

5.4 Verankering

De verankering van de drijvende constructies moet zodanig zijn dat de getijbeweging gevolgd kan worden. Dat wil zeggen dat ook bij de hoogste waterstanden de ankerlijnen voldoende lengte moeten hebben. Ook mag in het algemeen geen verticale belasting optreden in de verankering. Bij een waterstand van N.A.P.+ 3m, de waterdiepte is dan 4,5m, betekent dat een ankerlijnlengte van ca. 35m (8 maal de waterdiepte). De overlevingscondities die bij die waterstand op kunnen treden, zullen zwaarder zijn dan de condities waarbij de constructie goed moet dempen.

Dit komt vooral door de grotere golfhoogten. Dit wordt enigszins gecompenseerd doordat bij grotere waterdiepten de damping minder is, waardoor de golfkrachten relatief kleiner zijn. Dat blijkt ook uit de door Lonquet - Higgins (1977) gegeven formule voor de gemiddelde op de constructie uitgeoefende golfkrachten:

$$F_{\text{gem}} = 1/8 \rho g H_I^2 \left(1 + C_R^2 - C_T^2 \right) \left(1/2 + \frac{kh}{\sinh 2 kh} \right)$$

De kracht wordt groter door:

- hogere inkomende golven (H_I),
- meer reflectie (C_R),
- minder transmissie (C_T),
- kleinere relatieve waterdiepte ($kh = 2 \pi h/l$).

Uit de formule blijkt nog eens dat een constructie met weinig reflectie kleinere krachten ondervindt dan een constructie die veel reflecteert. Een dissiperende constructie is dus qua krachtwerking gunstiger dan een reflecterende constructie.

In getijgebieden staan constructies zowel bloot aan golven, als aan stromingen. De daaruit voortvloeiende krachten (evenredig met het kwadraat van de stroomsnelheid) zullen ook door de verankering moeten worden opgenomen.

Voor de bepaling van de orde van grootte van de golf- en stroomkrachten wordt een voorbeeld uitgewerkt. Veronderstel dat de golfkrachten worden bepaald bij een waterdiepte van 3,5m voor golven met een hoogte $H = 1\text{m}$ en een lengte $L = 25\text{m}$.

Volgens figuur 5.3.6 is de transmissiecoëfficiënt van het betonvlot $C_T = 0,75$ en van de bandenconstructie $C_T = 0,6$.

De reflectiecoëfficiënt van beide constructies wordt geschat op respectievelijk $C_R = 0,65$ en $C_R = 0,3$. De gemiddelde kracht per strekkende meter constructie is dan (formule Lonquet-Higgins):

- voor het vlot: $F_{v,g} = 870 \text{ N/m'}$,
- voor de bandenconstructie: $F_{b,g} = 740 \text{ N/m'}$.

De stroomkrachten worden bepaald met de formule van de weerstandskracht: $F = 1/2 \rho C_D V^2$

met: C_D = weerstandcoëfficiënt

V = stroomsnelheid

D = diepgang

De weerstandcoëfficiënt is voor het vlot (caisson) $C_D = 1,4$ en voor de bandenconstructie $C_D = 0,6$ (Harms (1979)).

De stroomsnelheid wordt aangenomen op $V = 1\text{m/s}$.

Dan zijn de stroomkrachten (per strekkende meter):

- voor het vlot: $F_{v,s} = 735 \text{ N/m'}$,
- voor de bandenconstructie: $F_{b,s} = 300 \text{ N/m'}$.

De gemiddelde golfkrachten en de stroomkrachten zijn van dezelfde orde van grootte. De piekgolfkrachten zijn een stuk groter.

Zo is volgens Harms et al (1982) de piekkracht bij een PT-constructie $F = K \rho g \sqrt[3]{H^3 D}$.

K is een coëfficiënt die afhangt van de relatieve diepgang en het soort constructie.

Voor een relatieve diepgang $D/h = 1/3,5 = 0,29$ is $K \approx 0,32$.

De piekkracht wordt dan: $F = 3200 \text{ N/m'}$.

Voor het vlot kan de piekkracht bepaald worden met het ervaringsgegeven dat deze kracht maximaal ca. 8% bedraagt van het gewicht van de constructie (Hales (1974)), in dit geval 8% van 5500 N/m' :

$F_{\text{piek}} = 440 \text{ N/m'}$.

De bandenconstructie ondervindt kleinere krachten dan het vlot. De verschillen worden nog groter als de afmetingen van het vlot (voor een betere demping) groter worden.

5.5 Conclusies

Een constructie, geplaatst bij de gemiddelde laagwaterlijn, kan de golven goed dempen. De golfdemping neemt bij alle constructies af als de waterstand hoger wordt. Dit hoeft op zich geen probleem te zijn omdat door de grotere waterdiepte de invloed van de golven op de bodem afneemt.

Erosie direct achter de constructies zal vermoedelijk gering zijn door het milde (gedempte) golfklimaat. Daarentegen kan juist voor en onder de constructies wel erosie optreden. Die erosie kan aanzienlijk zijn (door turbulenties, staande golven, enz.). Daar zal vermoedelijk een bodenverdediging moeten worden aangebracht.

De constructies worden aan allerlei krachten blootgesteld (golfkrachten, strooming, oplegkrachten bij droogvallen). Flexibele, weinig reflecterende constructies zijn qua krachtwerking dan in het voordeel.

6. STORTSTEEN / GRINDDAM

6.1 Inleiding

In dit hoofdstuk komt als referentieconstructie de stortsteen/grinddam aan de orde. Gekeken wordt naar de golfdempende werking van dergelijke constructies in getijgebieden en in gebieden met een vast waterpeil.

6.2 Golfdempende werking

De golfdempende werking van stortsteen/grinddammen is voornamelijk gebaseerd op reflectie van de golven.

In paragraaf 3.2 is al aangegeven hoe op theoretische gronden een schatting gemaakt kan worden van dergelijke reflecterende constructies. Hiervoor wordt de volgende formule gebruikt:

$$C_T = \sqrt{1 - \frac{2k(h-D) + \sinh 2k(h-D)}{2kh + \sinh 2kh}}$$

waarin:

k = golfgetal ($= 2\pi/L$),

D = vrije ruimte boven de dam,

h = waterdiepte.

De uitgangssituatie waarvoor de transmissiecoëfficiënten bepaald zijn, is weergegeven in figuur 6.2.1.

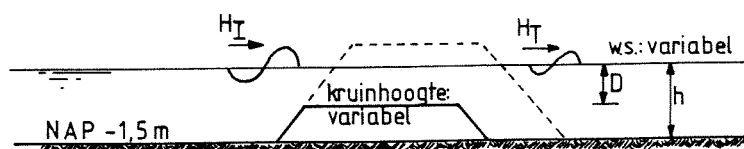


Fig. 6.2.1. Uitgangssituatie ter bepaling van de golftransmissie.

Bodemligging	: N.A.P. - 1,5m.
Kruinhoogte dam	: variabel (tussen N.A.P.-0,5m en N.A.P.+ 1,5m.)
Golflengte	: 25 m.
Waterstand	: variabel (tussen N.A.P.-1,5m en N.A.P.+ 7,5m.)

Met de formule zijn de transmissiecoëfficiënten uit tabel 6.2.1 bepaald.

kruinhoogte (n)	1,0		1,5		2,0		2,5	
waterdiepte h (m)	h-D	C_T	h-D	C_T	h-D	C_T	h-D	C_T
0		0		0		0		0
1,0		0		0		0		0
1,5		0,59		0		0		0
2,0	1,0	0,73	1,5	0,53	2,0	0	2,5	0
2,5		0,80		0,67		0,49		0
3,0		0,85		0,75		0,63		0,46
3,5		0,88		0,81		0,72		0,61
7,5		0,98		0,97		0,96		0,94

Tabel 6.2.1. Theoretische transmissiecoëfficiënten van een aantal stortsteen/grinddammen.

Naast theoretische beschouwingen zijn er ook metingen verricht naar de golfdempende werking van dergelijke dammen. In het literatuuronderzoek (deel 3 van dit rapport) komt e.e.a. uitgebreid aan de orde. Hier wordt het resultaat van één onderzoek weergegeven in figuur 6.2.2.

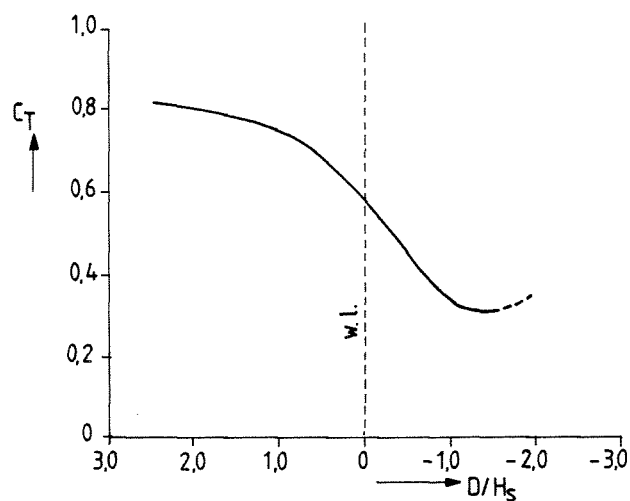


Fig. 6.2.2. Transmissie als functie van het relatieve vrijboord.

Uitgaande van figuur 6.2.2 zijn voor een situatie (kruinhoogte dam = 1,5m) de transmissiecoëfficiënten bepaald. Dit is weer-
gegeven in tabel 6.2.2.

waterdiepte h (m)	golfhoogte H_s (m)	D/H_s	C_T
1	0,65 1)	- 0,77	0,3
2	1,2 2)	0,42	0,6
3	1,2 2)	1,25	0,75
4	1,2 2)	2,1	0,8
1) Golfhoogte wordt beperkt door de waterdiepte.			
2) Golfhoogte behorend bij een golflengte van ca. 25m.			

Tabel 6.2.2. Transmissiecoëfficiënten bepaald aan de hand van
figuur 6.2.2.

De resultaten van de tabellen 6.2.1 en 6.2.2 zijn weergegeven in
figuur 6.2.3. Daaruit blijkt dat met name in de situatie dat de
waterstand lager is dan de kruin van de dam, er toch sprake is van
enige golftransmissie. Dit wordt veroorzaakt door b.v. golfoverslag
en enige transmissie door de (poreuze) dam heen.

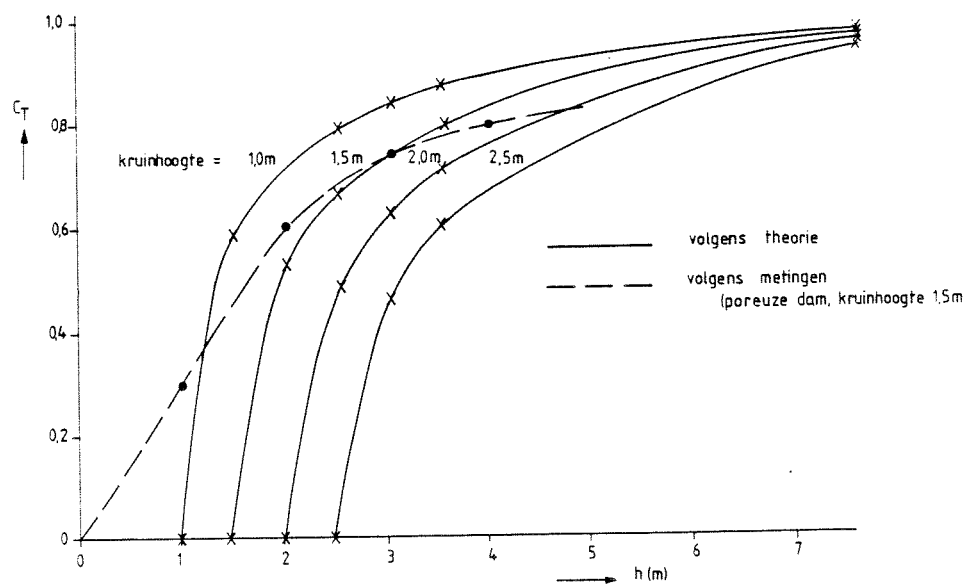


Fig. 6.2.3. Transmissiecoëfficiënten volgens theorie en volgens metingen.

LIJST VAN SYMBOLEN

symbool	definitie	dimensie	eenheid
A	amplitude	L	m
B	breedte	L	m
C_T	transmissiecoëfficiënt ($= H_T/H_I$)	-	-
C_R	reflectiecoëfficiënt ($= H_R/H_I$)	-	-
c	golfvoortplantingssnelheid	LT^{-1}	m/s
c_d	weerstandcoëfficiënt	-	-
c_g	golfgroepvoortplantingssnelheid	LT^{-1}	m/s
D	diepgang	L	m
D_1	diameter, hoogte van de constructie	L	m
D_2	vrijboord	L	m
D_1	$= D + D_2$	-	-
E	golffenergie (per eenheid van opp.)	MT^{-2}	N/m
E_D	gedissipeerde energie (per eenheid van opp.)	MT^{-2}	N/m
E_R	gereflecteerde energie (per eenheid van opp.)	MT^{-2}	N/m
E_T	getransmitteerde energie (per eenheid van opp.)	MT^{-2}	N/m
F	kracht (per eenheid van lengte)	MT^{-2}	N/m
F_g	gemiddelde kracht	MT^{-2}	N/m
F_p	piekkracht	MT^{-2}	N/m
f	golffrequentie ($= 1/T$)	T^{-1}	1/s
G	gewichtszwaartepunt	-	-
H	golfhoogte	L	m
H_I	inkomende golfhoogte	L	m
H_T	getransmitteerde golfhoogte	L	m
H_R	gereflecteerde golfhoogte	L	m
h	waterdiepte	L	m
I	massatraagheidsmoment (per eenheid van lengte)	ML	Ns^2
j	traagheidsstraal		
k_v	veerconstante	MT^{-2}	N/m
k	golfgetal ($= 2\pi/L$)	L^{-1}	1/m
l	constructielengte	L	m
l	golflengte	L	m
L	plaatselijke lengte	L	m
L_o	diep water golflengte	L	m
m	massa (per eenheid van lengte)	ML^{-1}	kg/m
P	porositeitscoëfficiënt	-	-

LIJST VAN SYMBOLEN (vervolg)

symbool	definitie	dimensie	eenheid
P	vermogen	ML^2T^{-3}	W
P_I	inkomend vermogen	ML^2T^{-3}	W
P_T	getransmitteerd vermogen	ML^2T^{-3}	W
P_R	gereflecteerd vermogen	ML^2T^{-3}	W
p	druk	$ML^{-1}T^{-2}$	N/m^2
S	energiedichtheidsspectrum	L^2T	m^2s
T	golfperiode	T	s
T_k	eigen trillingsperiode	T	s
T_s	significante golfperiode	T	s
σ	cirkelfrequentie ($= 2\pi/T$)	T^{-1}	1/s
θ	golfinvalshoek (hoek t.o.v. loodrechte inval)		

BIJLAGE I

Golfdempende constructies: afmetingen, kosten

1 A - Golfscherm met bodembeschermingConstructie voor $C = 0,5$.Afmetingen volgens ^Tfiguur 1, blz. 1.2

Materiaal: Hardhouten palen h.o.h. 4 m, lang 7,50m.

Azobé gordingen, zwaar 0,20 x 0,15m.

Azobé planken, dik 0,10m, lang 1,80m.

Verzinkt constructiestaal t.b.v. bevestigingen.

Bodembescherming zinkstuk + grind, 800 kg/m², breed 15m.

Aankopen:

Houten palen (25 stuks)	f. 26.520,-
Bezaagd hout (27 m ³)	- 33.750,-
Constructiestaal	- 7.000,-
Moeren en bouten	- 14.400,-
Totaal aankopen	f. 81.670,-

Heien palen	- 11.000,-
Verwerken schotten	- 42.250,-

Bodembescherming:

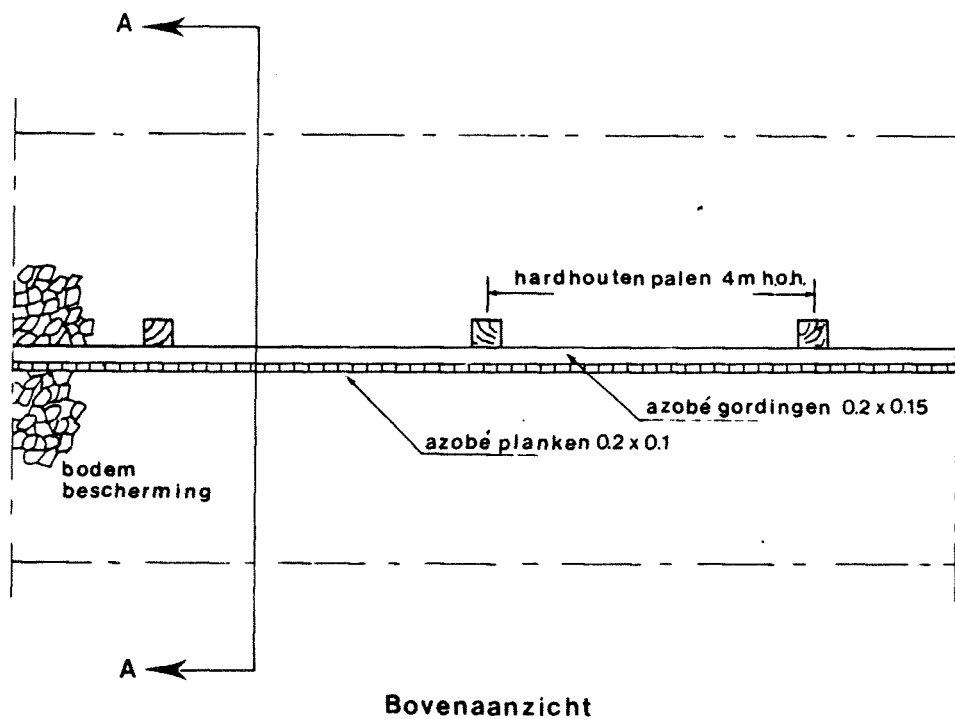
Leveren en verwerken zoolstuk	f. 25.500,-
Leveren en verwerken grind	- 30.000,-
	- 55.500,-

Uitvoeren en uitzetten, onwerkbaar weer, etc. (+ 6%)	- 11.580,-
	f. 202.000,-

Hoofdkantoorkosten, winst en risico, + 15%	- 30.300,-
Onvoorzien, + 1%	- 2.700,-
Totaal	f. 235.000,-

=====

Totaal per m' : f. 2.350,00, excl. B.T.W.
 (kosten scherm: f. 1.700,00/ml)



Meerzijde

Oeverzijde

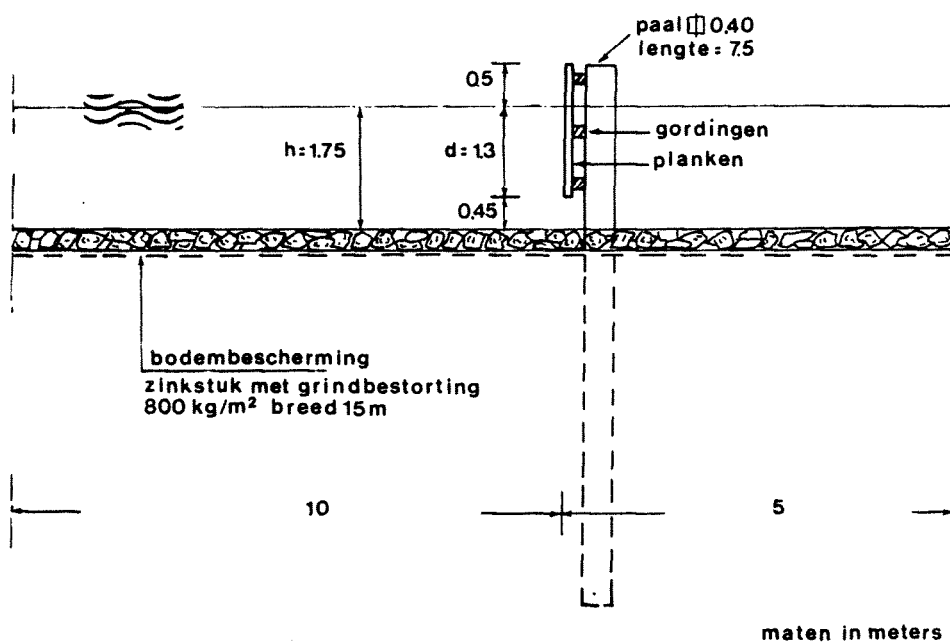


Fig. 1 Golfscherm

1 B - Golfscherm met grinddam en grindbestorting

Constructie voor $C = 0,15$.

Afmetingen volgens ^Tfiguur 2, blz. 1.4.

Kosten per 100 m' t.b.v. grinddam en grindbestorting:

Grindbestorting, 1600 t.	f.	27.200,-
Aankopen zoolstuk, 1520 m ²	-	18.000,-
Verwerken grind, 1600 t.	-	8.800,-
Verwerken zoolstuk	-	7.500,-
Uitvoering en uitzetten, onwerkbaarheid, etc. $\pm 6\%$	-	<u>3.700,-</u>
	f.	65.200,-
Hoofdkantoorkosten, winst en risico, $\pm 15\%$	-	9.780,-
Onvoorzien, $\pm 1\%$	-	<u>1.020,-</u>
Totaal	f.	76.000,-
		=====

Per m' grinddam + bestorting	f.	760,00
Per m' scherm	-	<u>1.700,00</u>
Totaal per m'	f.	2.460,00, excl. B.T.W.

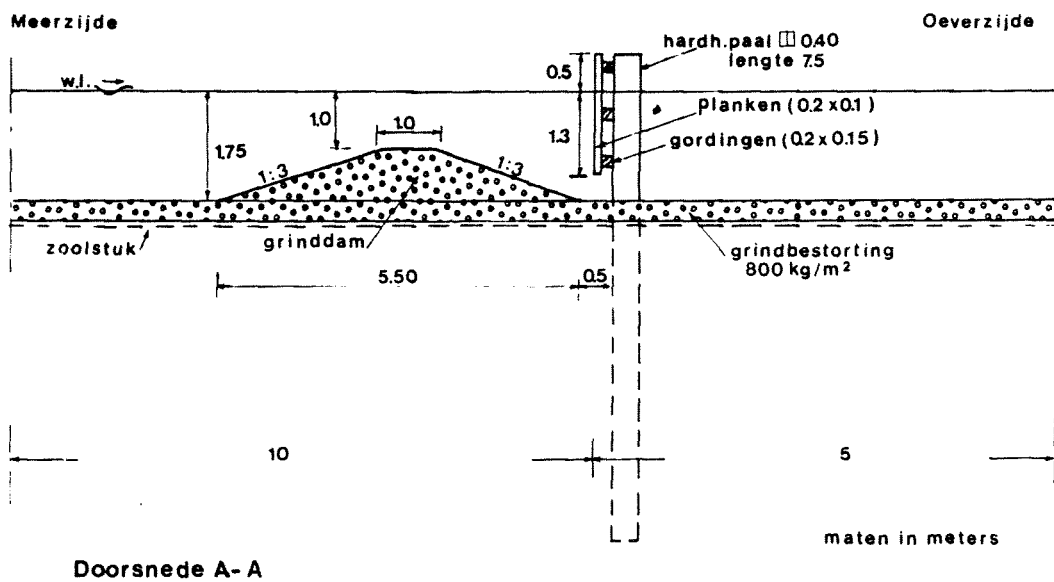
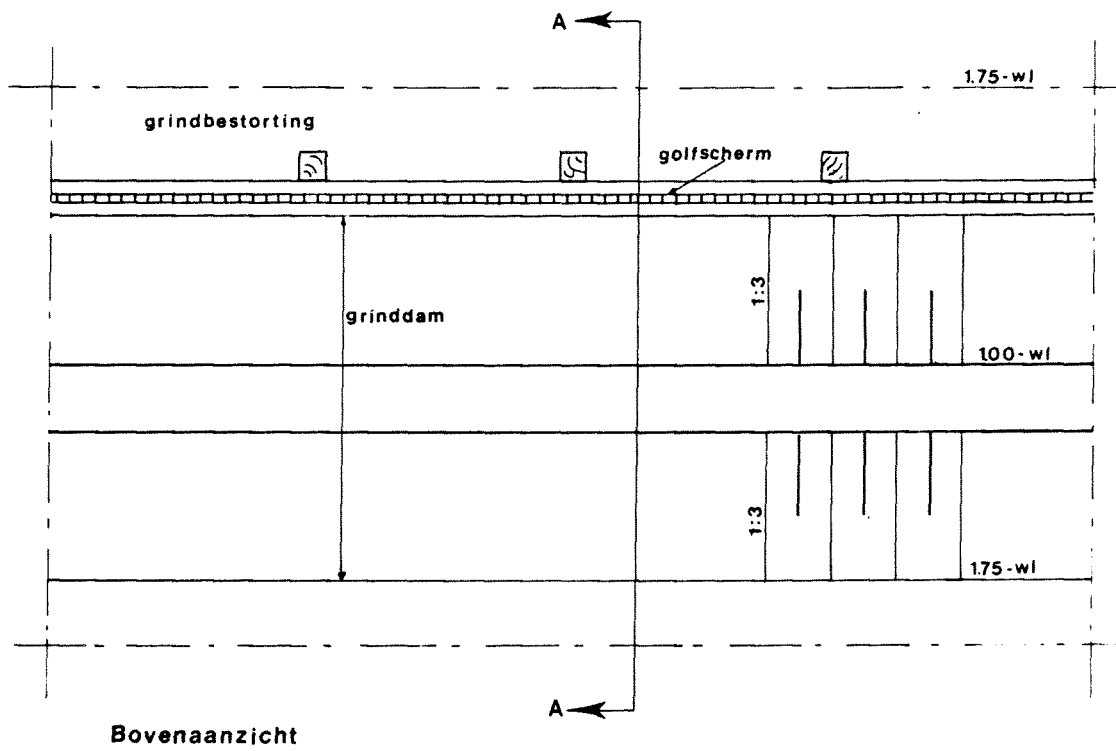


Fig. 2 Golfscherm met grinddam

2 A - Vlot van houten en stalen balken

Constructie voor $C = 0,5$

Afmetingen volgens de figuren 3 en 4 (blz. 1.6 en 1.7).

Materiaal: Houten balken 0,3 x 0,3 x 7,5m (gecreosoteerd, 2 x 14 st.)

Stalen profielen HE-A 300, lang 14 m.

Stalen profielen UNP 10, lang 17 m.

Stalen platen, 8,8 m².

Bouten en moeren, div.

Polystyreen blokken, 9 m³.

Verankeringskettingen, lang 15 m, diam. 19 mm.

Betonblokken voor verankering, 2 st.

Fenders voor stootkussen, 9 st., lang 0,35 m.

Looproosters, 24 m².

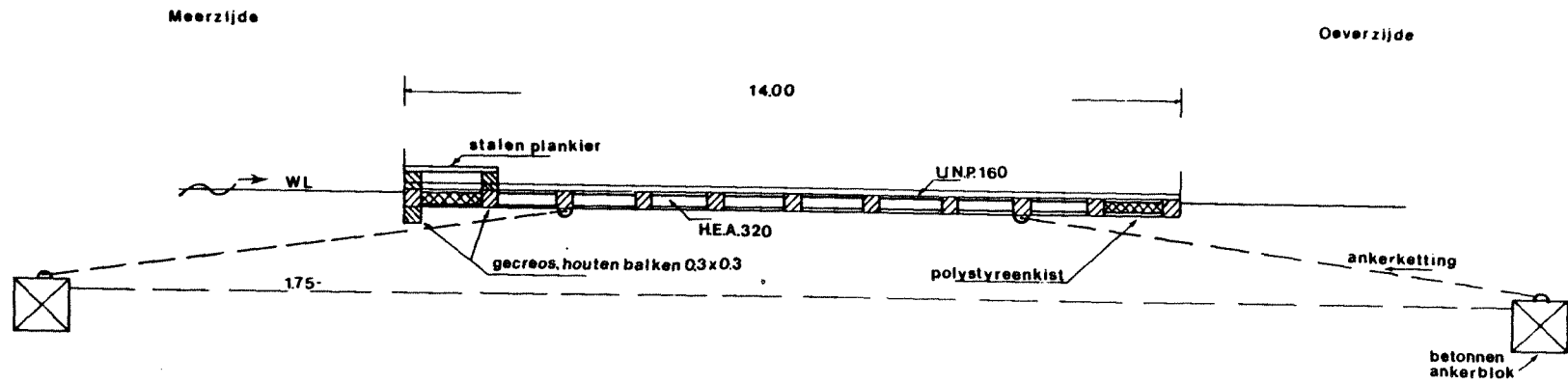
Aankopen: Profielstaal		
	) 5500 kg.	f. 42.900,-
Stalen platen		
Bouten en moeren		- 2.500,-
Kettingen, 19mm, 30m.		- 2.600,-
Polystyreen, 9 m ³ .		- 3.600,-
Fenders, 185/375 mm, 9 st., lang 0,35m.		- 2.070,-
Staalwerkfenders		- 1.000,-
Betonblokken, 2st.		- 2.000,-
Gecreosoteerd hout, 19m ³		- 18.000,-
Looproosters, 24 m ²		- 1.200,-
	Totaal aankopen	f. 75.870,-

Verwerken en aanbrengen	- 15.000,-
Uitvoering, onwerkb. weer, $\pm 6\%$	- 5.130,-
	f. 96.000,-
Hoofdkantoorkosten, winst en risico, $\pm 15\%$	- 14.400,-
Onvoorzien, $\pm 1\%$	- 1.600,-
	f. 112.000,-

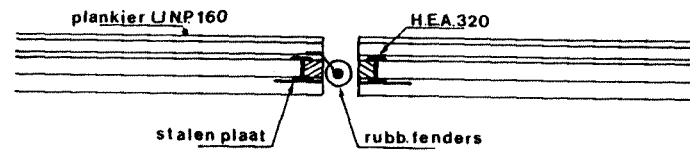
=====

Per m': f. 112.000,-/15 = f. 7.466,00, excl. B.T.W.

Fig. 3 Balkvlot



Doorsnede balkenvlot A - A



Lengte doorsnede t.p.v. de aansluiting B - B

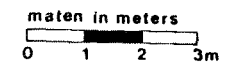
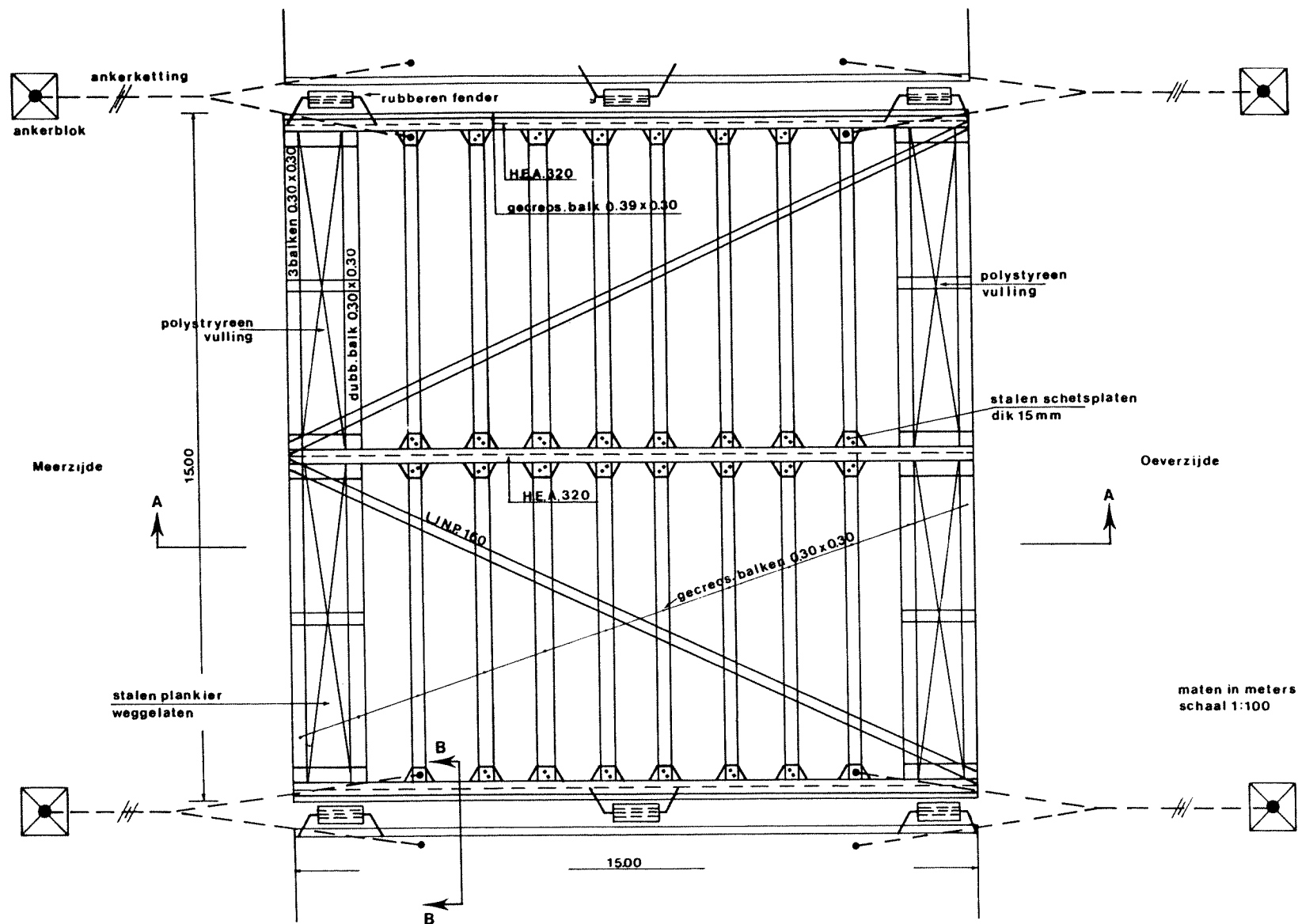


Fig. 4 Bovenaanzicht balkviot



2 B - Vlot van houten en stalen balken

Constructie voor $C = 0,15$.

Afmetingen: breedte $B = 30m$, overige afmetingen als van type 2 A.

Materiaal: Houten balken, $7,4 \times 0,3 \times 0,3m$, 2 x 26 st.= 52 st.

kopeind $15m$, 2 x 4 st.= 8 st.

Stalen profielen, HE-A 320, lang $30m$, 3 st.

Stalen profielen, UNP 16, lang $17m$, 4 st.

Stalen platen, $18 m^2$.

Bouten en moeren, div.

Verankeringskettingen, lang $15m$, diam. $19 mm$.

Betonblokken voor verankering, 2 st., $2 m^3$.

Polystyreenblokken, $13,5 m^3$.

Looproosters, $24 m^2$.

Aankopen: Profielstaal + stalen platen, $12.200 kg$.	f.	61.000,-
Bouten en moeren	-	4.000,-
Ketting, diam. $19 mm$, $30 m$.	-	2.610,-
Polystyreen, $13,5 m^3$	-	5.400,-
Fenders, $185/375 mm$, 12 st., lang $0,35m$.	-	2.760,-
Betonblokken, $2 m^3 \times 2 st.$	-	3.000,-
Gecreosoteerd hout, $35 m^3$.	-	33.250,-
Looproosters, $24 m^2$.	-	1.200,-
Totaal aankopen	f.	113.220,-

Verwerken en aanbrengen	-	25.000,-
Uitvoering, onw.weer, etc.	-	8.780,-
	f.	147.000,-

Hoofdkosten, winst en risico, $\pm 15\%$	-	22.050,-
Onvoorzien, $\pm 1\%$	-	1.950,-
Totaal	f.	171.000,-

=====

Per m' : f. $171.000,-/15 = f. 11.400,00$, excl. B.T.W.

3 A - Autobandenconstructie

Constructie voor $C = 0,5$.

Afmetingen: Breedte $B = 3m$, overige afmetingen zoals in fig.5(blz.1.10).

Materiaal: Stalen buis, lang 3m, diam. 400 mm., dik 10 mm.

Afdichtingsplaten, dik 0,01m.

Polyurethaanschuim in buis (= 2,5m³) en 20% van de banden (=2,5m³).

Autobanden, 154 st. per sectie van 3.65m.

Repen transportband, nylon bouten en moeren.

Nylontouw, 24 mm (3 slagen per streng).

Bandensloten/ankerpunten.

Ankerkettingen, lang 15m, diam. 19 mm.

(1 ketting aan voor- en achterzijde per 3 secties)

Betonblokken voor verankering.

Aankopen (voor 1 sectie, figuur 5):

Stalen buis, 765 kg.	f.	1.000,-
Afdichtingsplaten	-	100,-
Bandensloten/ankerpunten	-	90,-
Polyurethaan	-	2.000,-
Autobanden (transport, e.d.)	-	1.220,-
Transportband	-	750,-
Nylontouw	-	970,-
Betonblok	-	665,-
Stalen ankerketting, diam. 19 mm.	-	870,-
Bouten en moeren	-	125,-
Totaal aankopen	f.	7.790,-

Samenstellen + verankering	-	9.000,-
Uitvoering, uitzetten, onwerkbaar weer, <u>+ 10%</u>	-	1.500,-
	f.	18.290,-

Hoofdk.kosten, winst en risico, <u>+ 15%</u>	-	2.760,-
Onvoorzien	-	1.050,-
Totaal	f.	22.100,-

=====

Per m': f. 22.100,-/3,65 = f. 6.054,00, excl.B.T.W.

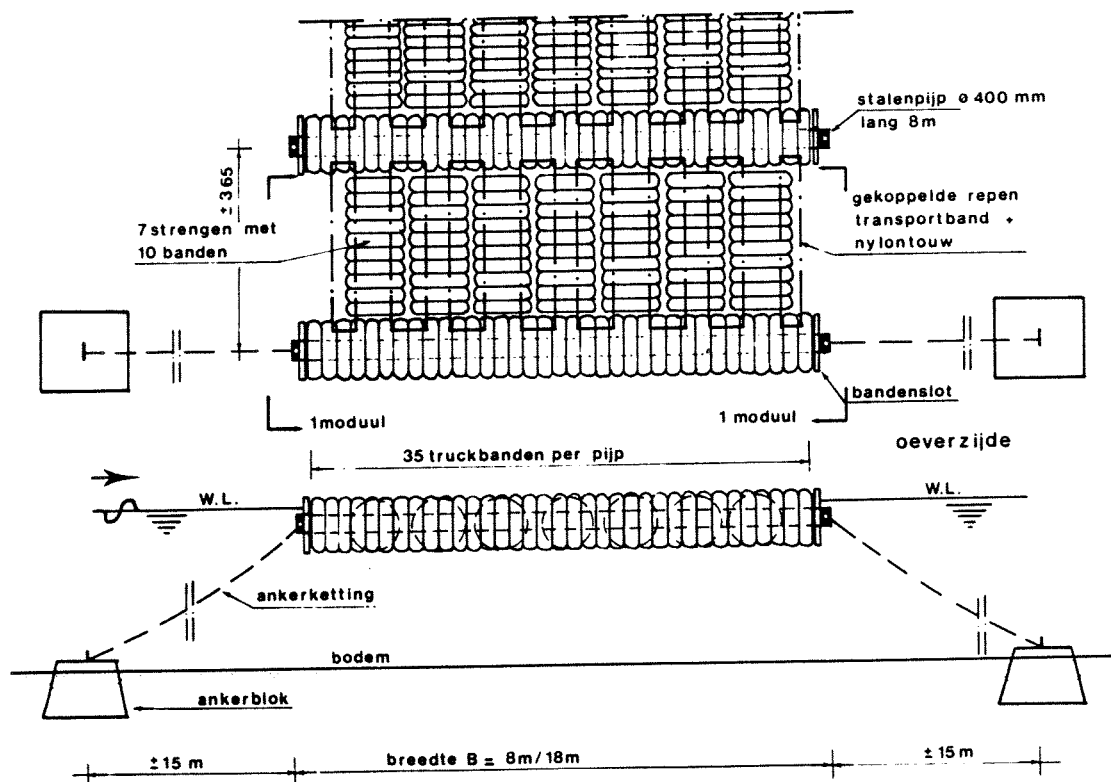


Fig. 5 PT-bandenconstructie

3 B - AutobandenconstructieConstructie voor $C = 0,15$

Afmetingen als 3 A, nu buis 18 m lang, overige maten als in fig.5.

Aankopen:

Stalen buis	f.	2.250,-
Afdichtingsplaten	-	100,-
Bandensloten/ankerpunten	-	90,-
Polyurethaan ($\pm 11 \text{ m}^3$)	-	4.400,-
Autobanden (transport, e.d.), 350 st.	-	2.600,-
Nylontouw	-	1.200,-
Transportbaan	-	1.200,-
Bouten en moeren	-	200,-
Stalen ankerketting, $3/4"$, 2 x 15m per 10 m.	-	870,-
Betonblokken, 2 st. per 10 ml.	-	750,-
Totaal aankopen	f.	13.660,-

Samenstellen	-	14.000,-
--------------	---	----------

Uitvoering, uitzetten, onwerkb.weer,		
--------------------------------------	--	--

aan- en afvoer mat.	-	2.000,-
---------------------	---	---------

f.	29.660,-
----	----------

Hoofdk.kosten, winst en risico, $\pm 15\%$	-	4.440,-
--	---	---------

Onvoorzien	-	1.900,-
------------	---	---------

Totaal	f.	36.000,-
--------	----	----------

=====

Per m': f. 36.000,-/3,65 = f. 9.863,00.

4 A - Vlot van beton volgeschuimd met polystyreen

Constructie voor $C = 0,5$.

Afmetingen: $L = 15\text{m}$, $B = 5\text{m}$, $H = 1\text{m}$ (figuur 6, blz. 1.13).

Kosten:

Gew.beton, 25 m ³ à f. 750,-/m ³	f.	18.750,-
Polystyreen, 40 m ³ à f. 400,-/m ³	-	16.000,-
Ankerblokken, 2 st. à f. 1000,-/st.	-	2.000,-
Ankerketting, 3/4", 60 m à f. 90,-/ml.	-	5.400,-
Fenders + staalwerk	-	2.000,-
Wrijfstijlen/gordingen	-	2.500,-
Transport + aanbrengen	-	1.500,-
	f.	48.150,-
Uitvoering + aan-en afvoer, etc.	-	2.900,-
Hoofdk.kosten + winst + risico, $\pm 15\%$	-	7.650,-
Onvoorzien	-	1.300,-
		<u>60.000,-</u>
Totaal	f.	60.000,-
		=====

Per m': f. 60.000,-/15 = f. 4.000,00, excl. B.T.W.

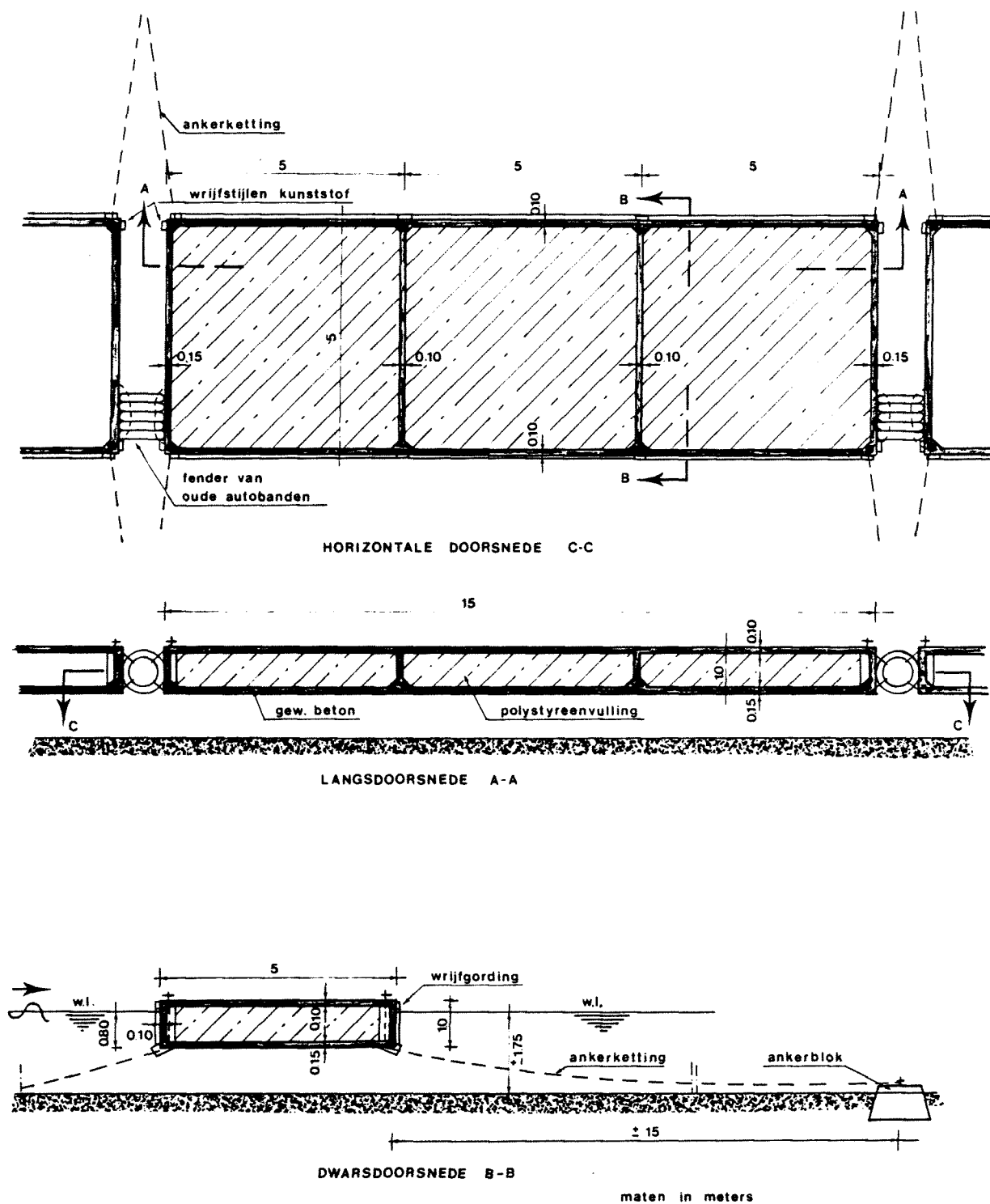


Fig. 6 Betonvlot

4 B - Vlot van beton (catamarantype)

Constructie voor $C_T = 0,15$.

Afmetingen: $L = 20m$, $B = 5,75m$, $H = 1,25m$ (fig.7, blz.1.15).

Kosten:

Gew.beton, 30 m3 à f. 750,-/m3	f.	22.500,-
Polystyreen, 48 m3 à f. 400,-/m3	-	19.200,-
Constructiestaal, 500 kg. à f. 7,50	-	3.750,-
3 Stalen palen, lang 9 m à f. 2000,-	-	6.000,-
Fender van oude banden, incl.staalwerk	-	1.000,-
Wrijfgordingen	-	2.500,-
Transport	-	1.500,-
	f.	56.450,-
Uitvoering + aan- en afvoer materieel, etc.	-	3.350,-
	f.	59.800,-
Hoofdk.kosten + winst + risico, + 15%	-	8.970,-
Onvoorzien	-	1.230,-
	f.	70.000,-
		=====

Per m': f. 70.000,-/20 = f. 3.500,00, excl. B.T.W.

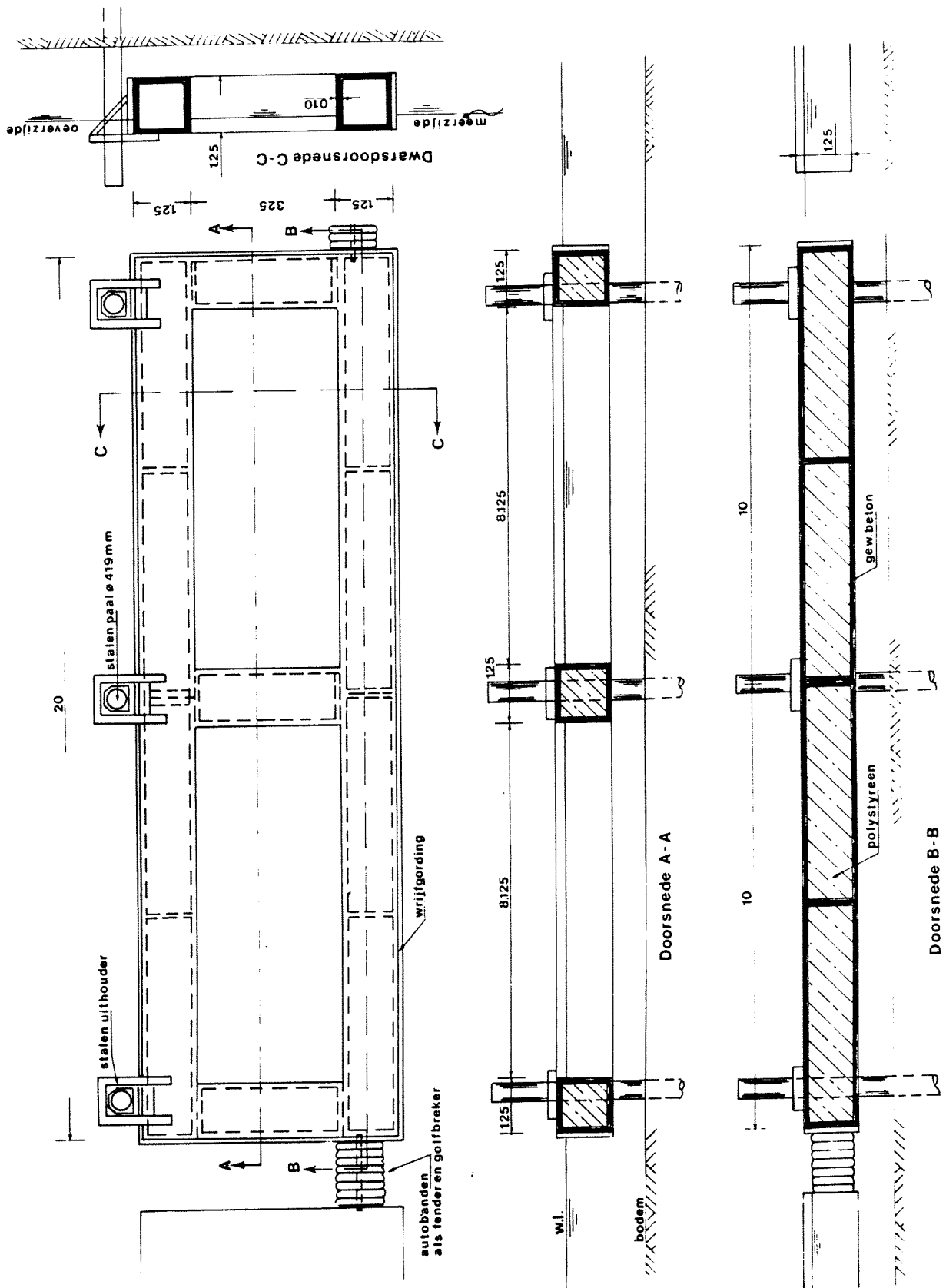


Fig. 7 Betonvlot (catamaran)

5 A - Catamaran buizenvlot met drijvend mosselveld

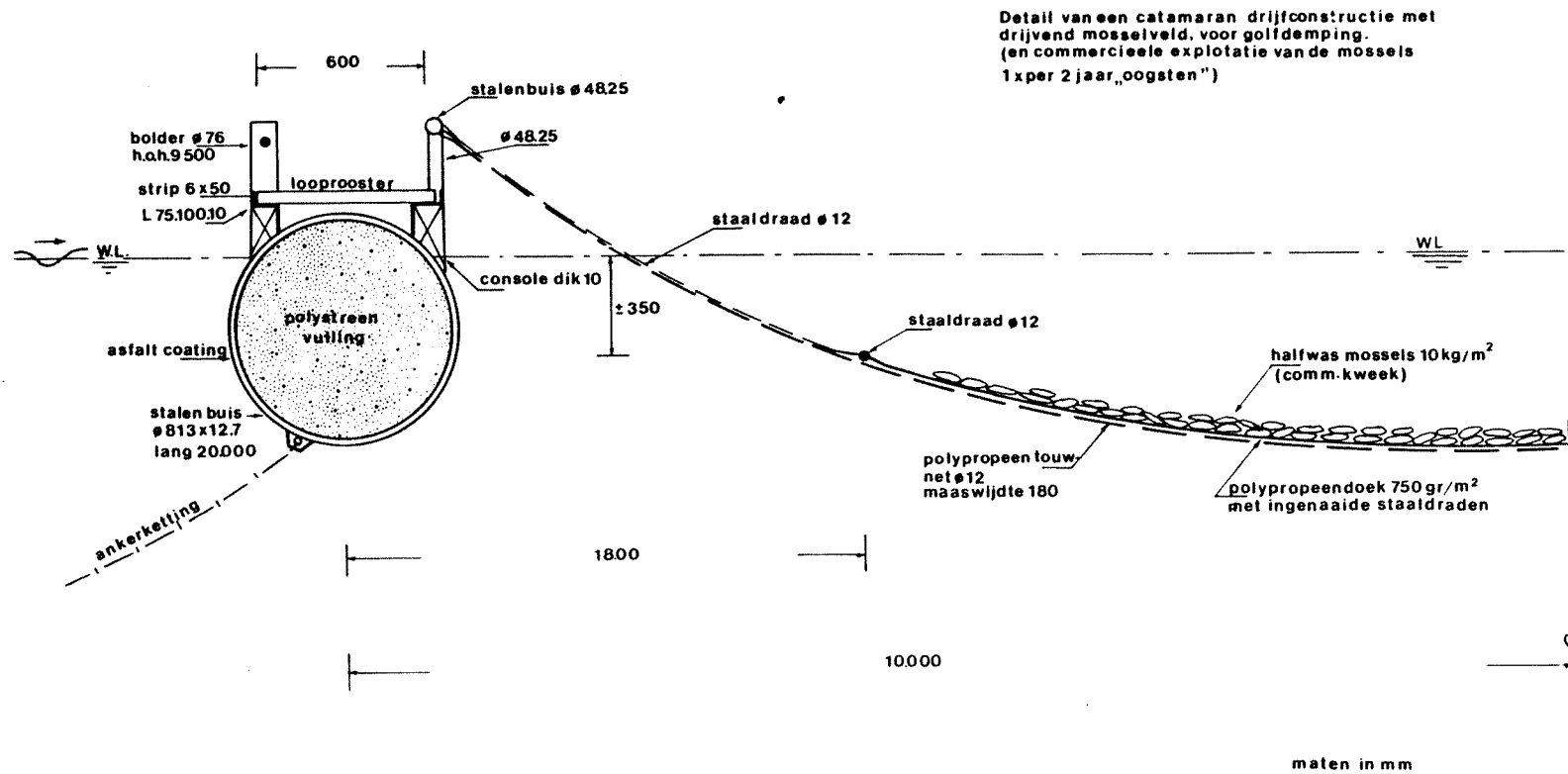
Constructie voor $C = 0,5$.

Afmetingen: $L = 20 \text{ m}$, $B = 10 \text{ m}$ (figuur 8)

Stalen buizen, diam. 813 mm, dik 12 mm. (57m')	f.	21.204,-
Coating buizen	-	918,-
Verstevigingsconsoles voor koppeling	-	750,-
Loopbordessen met bevestigingsrailing	-	6.400,-
Fenders (oude autobanden + bevestigingsmateriaal)	-	1.500,-
Ankerketting 2 x 15 m, 3/4" ketting	-	2.700,-
Ankerblokken, 2 stuks	-	3.000,-
Samenstellen stalen constructie, incl. lassen	-	33.000,-
Polystyreen in buizen (28 m3)	-	11.200,-
Polypropreen netten, 8,5 x 18 m = 153 m2	-	6.120,-
Bevestigingsmiddelen	-	500,-
Polypropreen doek, 750 gr./m2, 6 x 16 m.	-	720,-
Staalkabel, ingenaaid (70 m)	-	560,-
Staalkabel voor bevestiging	-	100,-
Bevestigingsmiddelen	-	500,-
Aanbrengen netten en doeken	-	500,-
Aankoop mosselen, 1.000 kg.	-	150,-
Aanbrengen mosselen	-	300,-
Te water plaatsen + verslepen en afmeten	-	2.000,-
	f.	92.122,-
Uitvoering + aan- en afvoer materieel, + 6%	-	5.520,-
	f.	97.642,-
Hoofdkosten + winst	-	17.558,-
Totaal	f.	115.200,-
	=====	

Per m': f. 115.200,-/20 = f. 5.760,00, excl.B.T.W.

Fig. 8 Drijvend mosselveld (detail)

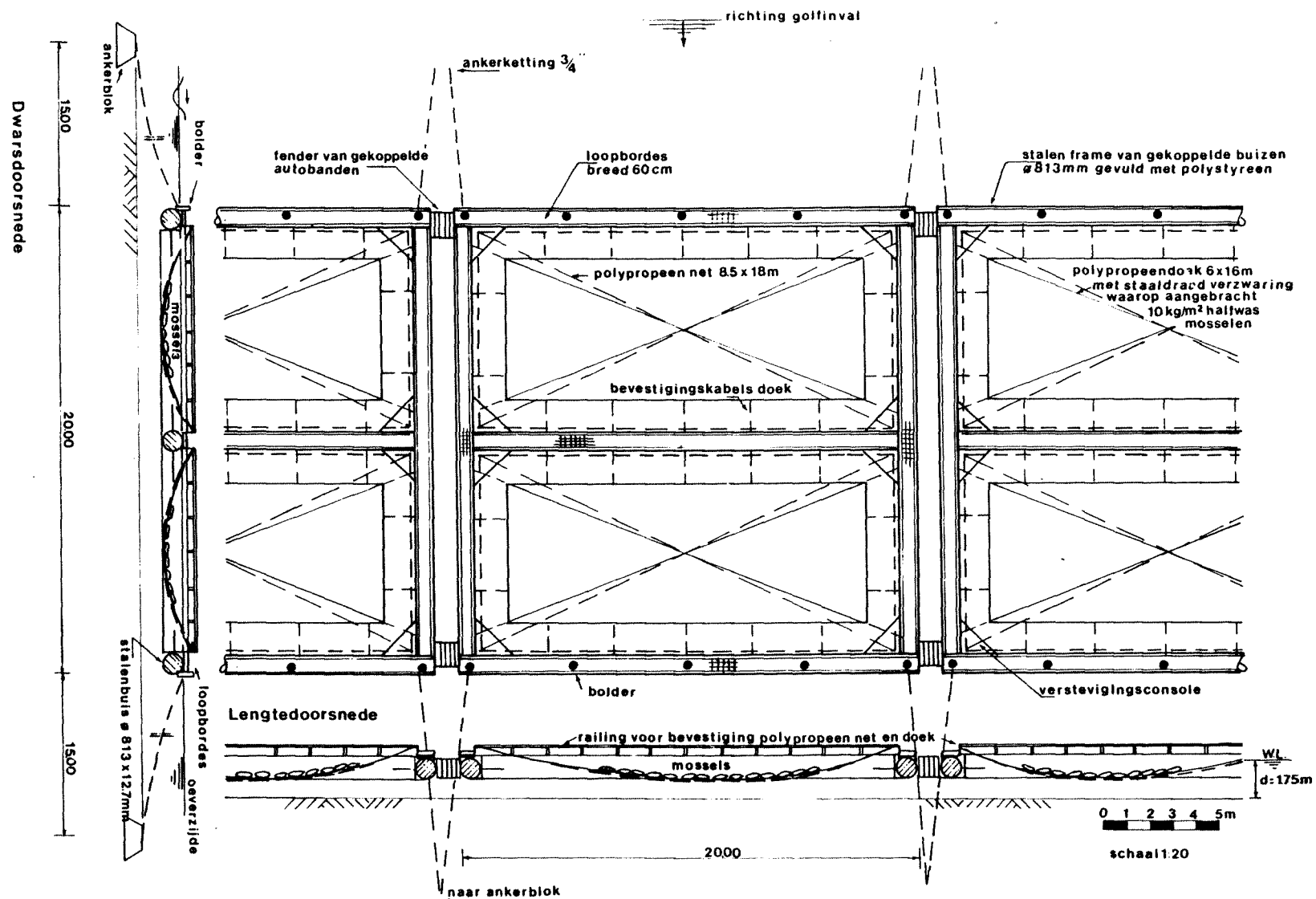


5 B - Catamaran buizenvlot met drijvend mosselveldConstructie voor $C_T = 0,15$.Afmetingen: $L = 20 \text{ m}$, $B = 20 \text{ m}$ (figuur 9, blz. 1.19).

Stalen buizen, diam. 813 mm, dik 12 mm (95,5 m).	f.	35.500,-
Coating buizen	-	1.500,-
Verstevigingsconsoles voor koppeling	-	1.450,-
Loopbordessen met bevestigingsrailing (95,5 m)	-	12.000,-
Fenders (oude autobanden + bevestigingsmateriaal)	-	1.000,-
Ankerketting 2 x 15 m, 3/4" ketting	-	2.700,-
Ankerblokken, 2 stuks	-	3.000,-
Samenstellen stalen constructie, incl. lassen	-	43.000,-
Polystyreen in buizen (46 m ³)	-	18.400,-
Polypropeen netten, 2 st., 8,5 x 18 m = 306 m ² .	-	12.240,-
Bevestigingsmiddelen	-	1.000,-
Polypropeen doek 750 gr./m ² , 2 st. 6 x 16 m.	-	1.440,-
Staaldraad ingenaald (100 m)	-	1.280,-
Staalkabel voor bevestiging (80 m)	-	1.000,-
Aanbrengen netten en doeken	-	1.000,-
Aankoop mosselen, 2.000 kg.	-	300,-
Aanbrengen mosselen	-	400,-
Te water plaatsen + verslepen en afmeren	-	3.000,-
	f.	140.210,-
Uitvoering + aan-en afvoer materieel, $\pm 6\%$	-	8.410,-
Hoofdk.kosten + winst, $\pm 15\%$	-	22.380,-
Totaal	f.	171.000,-
		=====

Per m': f. 171.000,-/20 = f. 8.550,00, excl. B.T.W.

Fig. 9 Drijvend mosselveld (bovenaanzicht)



6 A - Open betonelementen op bodembestorting

Constructie voor $G = 0,5$.

Afmetingen: zie ^Tfiguur 10, blz. 1.21, werkende lengte ca. 3,5 m.

Kosten:

Gew. betonelement, 4,7 m ³ à f. 700,-	f.	3.290,-
Zoolstuk met grindbestorting, 63 m ² à f. 40,-	-	2.520,-
Elementen plaatsen	-	500,-
Uitvoering, onwerkb.weer, aan-en afvoer		
materieel, $\pm 6\%$	-	400,-
	f.	6.710,-
Hoofdk.kosten, winst en risico, $\pm 15\%$	-	1.090,-
Onvoorzien	-	200,-
Totaal	f.	8.000,-
		=====

Per m': f. 8.000,-/3,5 = f. 2.285,00, excl. B.T.W.

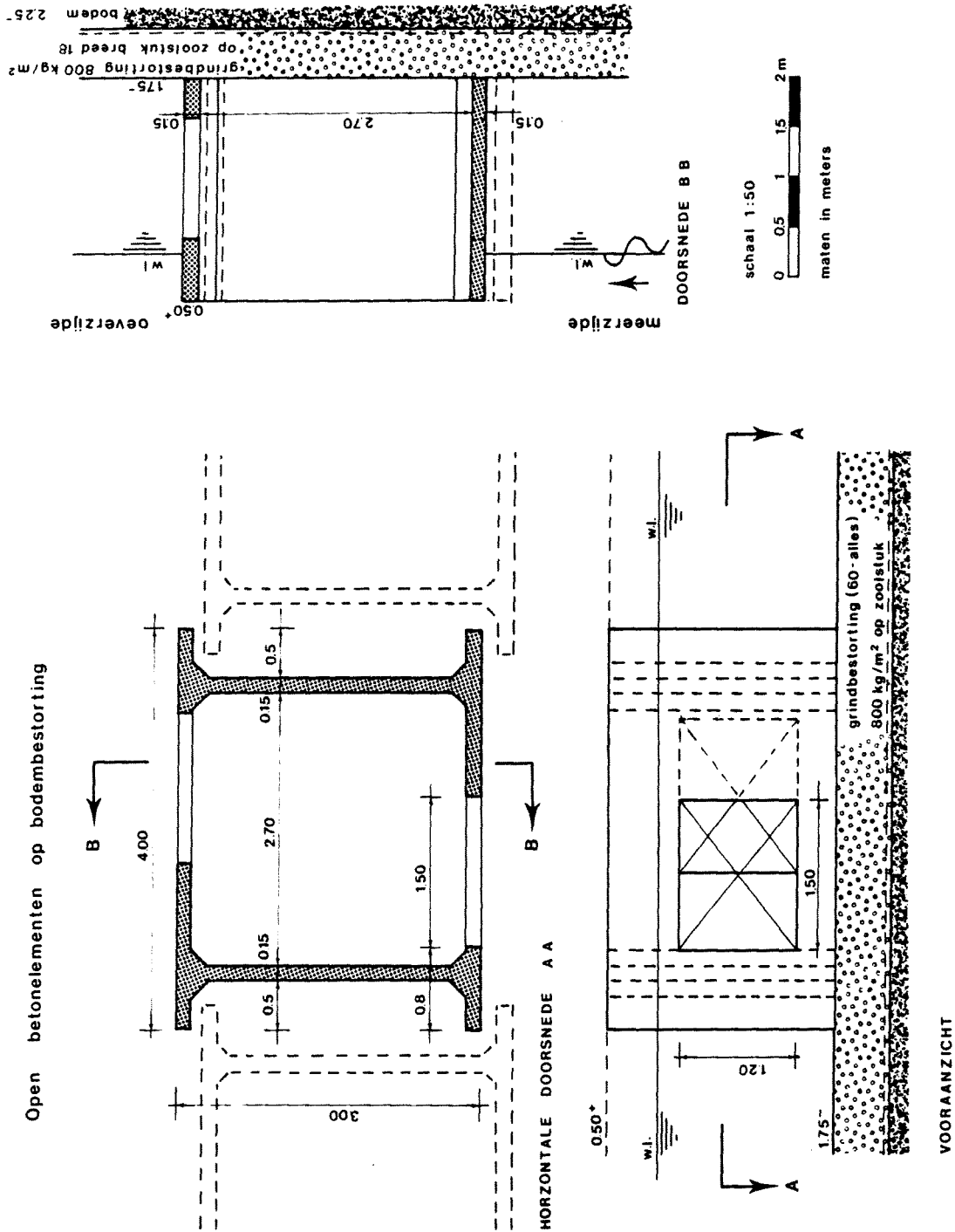


Fig. 10 Open betonelementen op bodembestorting

6 B - Open betonelementen op bodembestorting

Constructie voor $C = 0,15$.

Afmetingen: zie figuur 11, blz. 1.23, werkende lengte ca. 4,5 m.

Kosten:

Gew. betonelementen, 7,5 m ³ à f. 700,-	f.	5.250,-
Zoolstuk met grindbestorting, 85,5 m ² à f. 40,-	-	3.420,-
Elementen plaatsen	-	600,-
Uitvoering, onw.weer, aan-en afvoer materieel + 6%	-	<u>530,-</u>
	f.	9.800,-
Hoofdk.kosten, winst en risico, + 15%	-	1.470,-
Onvoorzien	-	<u>230,-</u>
Totaal	f.	11.500,-

Per m': f. 11.500,-/4,5 = f. 2.555,00, excl. B.T.W.

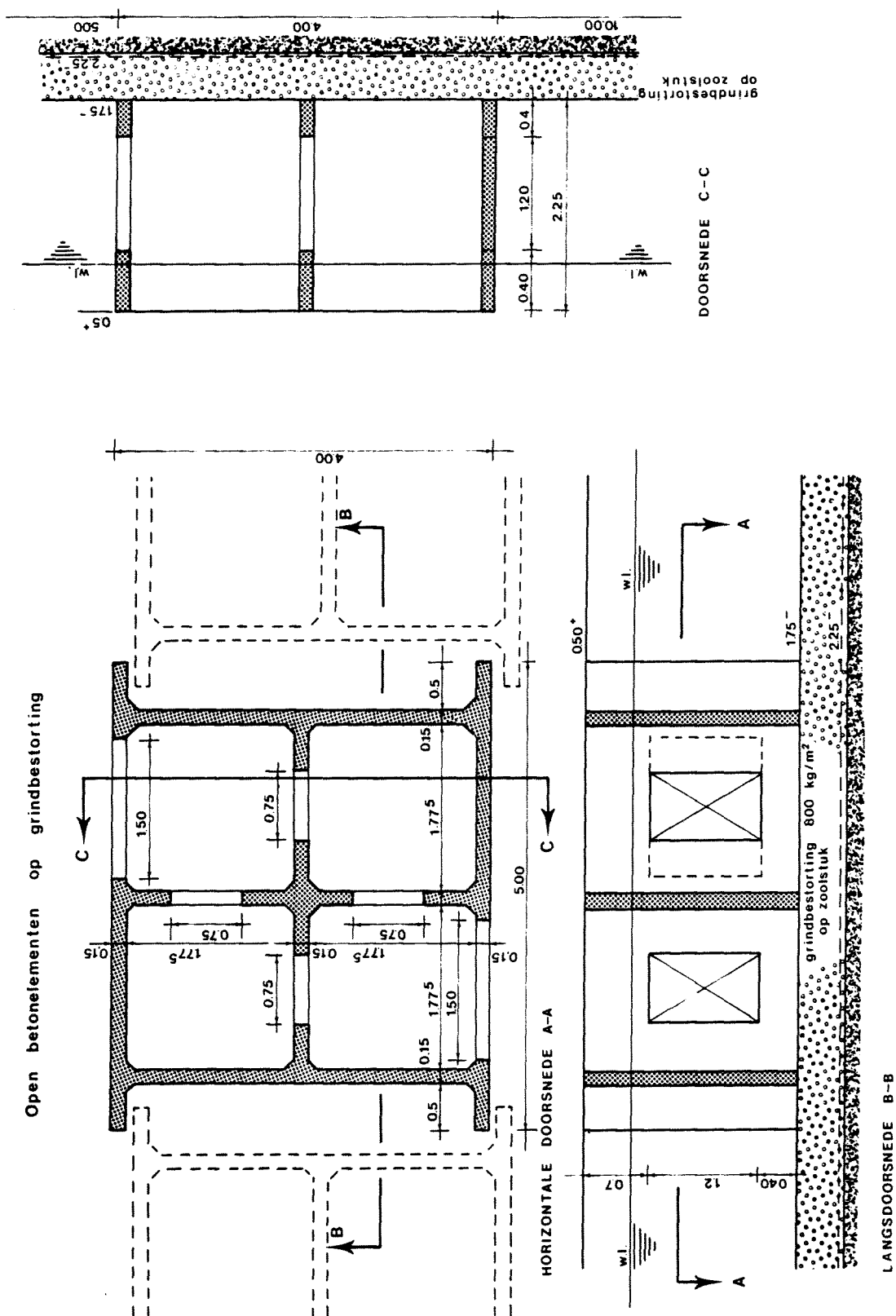


Fig. 11 Open betonelementen op grindbestorting

7 - Grind/stortsteendam

Referentieconstructie als vooroeververdediging.

Afmetingen: zie figuur 12, blz. 1.25.

De constructie heeft een C_T waarde = 0.
(afgezien van enige golfoverslag).

Kosten (per m' oever):

Stortsteen, 8 ton, levering + verwerking à f. 34,-/t.	f.	272,-
Grind, 26 ton, lev. + verw. à f. 25,-/t.	-	650,-
Zoolstuk, 19 m2, lev. + verw. à f. 17,-/m2	-	323,-
	f.	1.245,-

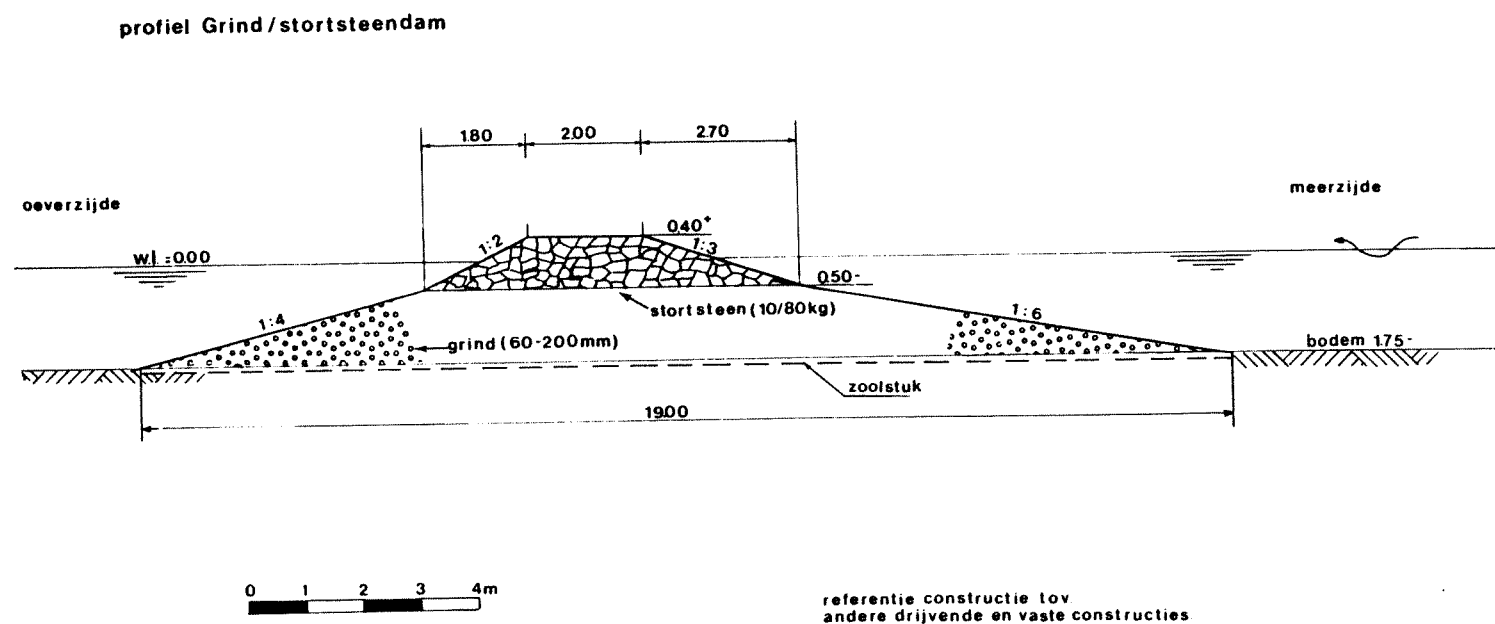
Uitvoeringskosten, onwerkbaar weer, stagnatie,

aan- en afvoer materieel, etc. + 6%	-	75,-
Hoofdkosten + winst, + 15%	-	200,-
Onvoorzien	-	80,-
Totaal	f.	1.600,-

=====

Per m': f. 1.600,-, excl. B.T.W.

Fig. 12 Grind/stortsteendam (referentie constructie)



BIJLAGE II

Watson golfdempende constructie

Watson golfdempende constructie

Tijdens de laatste handlegging aan de rapportage over het onderzoek naar golfdempende constructies, is een folder boven water gekomen van de Watson Marine Development Company (kanaaleiland Jersey) over een drijvende golfdempende constructie (figuren 1 en 2).

Het is een uit betonelementen opgebouwde constructie (vakwerkstructuur).

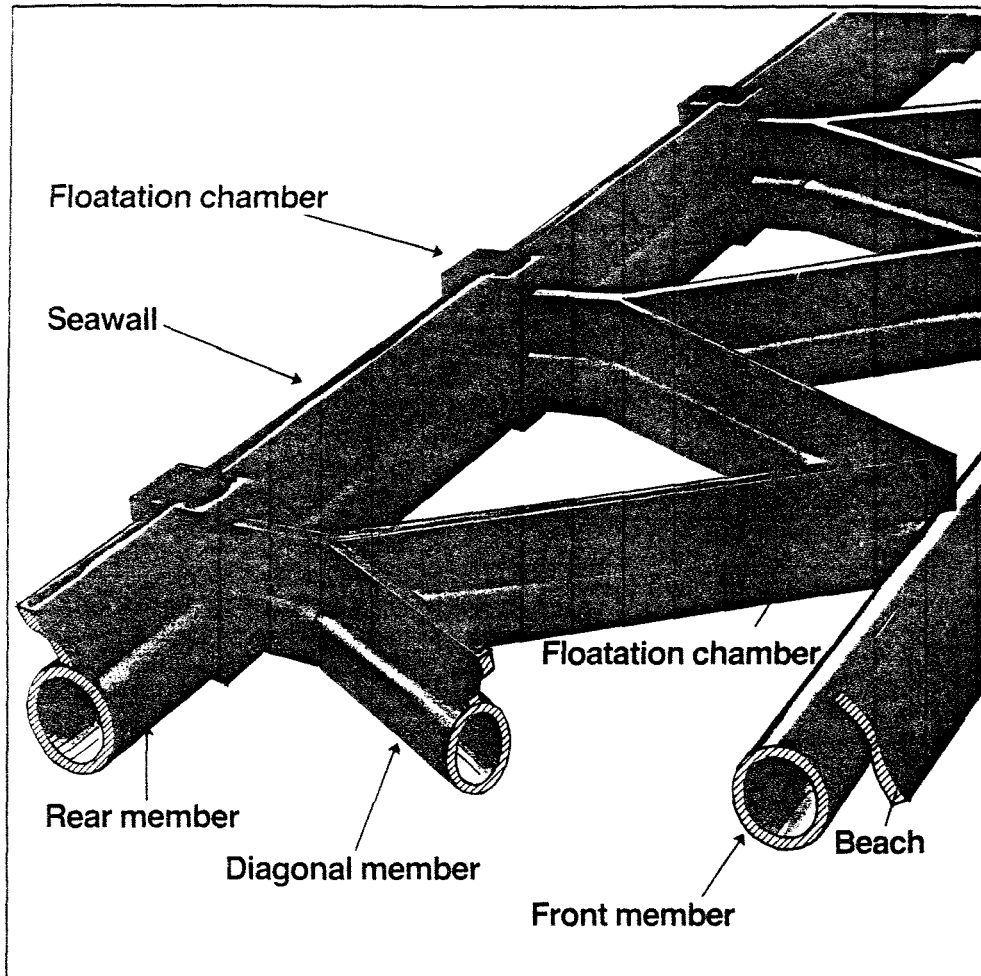
De constructie is in een golfgoot getest op golfdempende eigenschappen (schaal 1 : 100). Deze zijn vrij gunstig (figuur 3): voor $C = 0,5$
 T
 dient de constructiebreedte ca. 40% van de golflengte te bedragen en
 voor $C = 0,15$ ca. 75%.
 T

Nadeel is dat een dergelijke constructie duur zal zijn.

De kosten zijn vermoedelijk van dezelfde grootteorde als de kosten van de vloten uit hoofdstuk 4 (ca. f. 4000,- per m', excl. B.T.W.).

Mogelijk zijn ze zelfs nog iets duurder door de ingewikkeldere bekisting van de elementen.

Verder moet afgewacht worden of de dempingsresultaten van een prototype net zo gunstig zijn als die van het gootmodel.



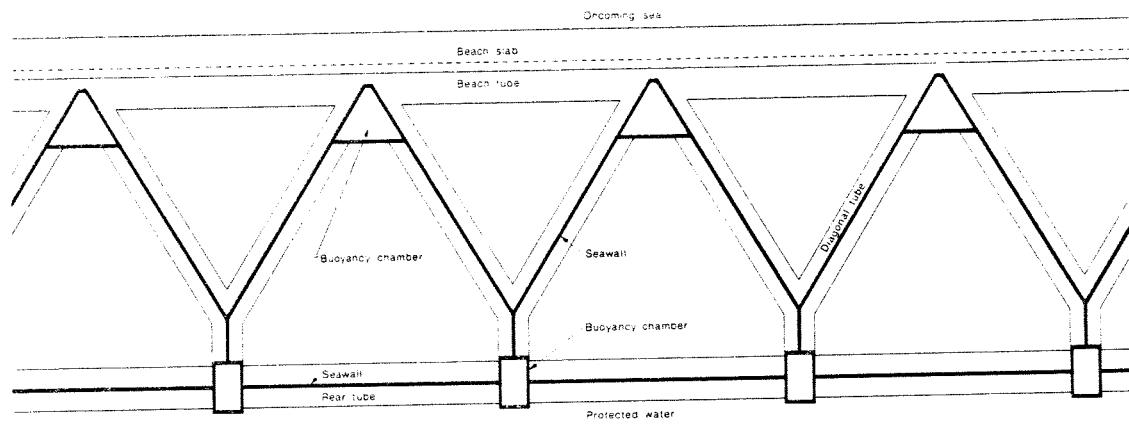
How does it work?

The Watson Floating Breakwater resembles a truss, with construction material concentrated in the lines of the members. Sea walls break the surface and divide the contained water into opposing triangular compartments.

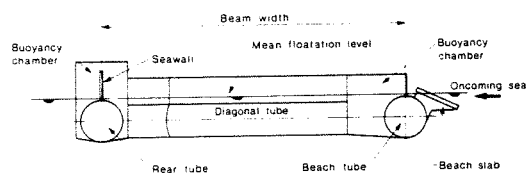
Energy in the incident wave is dissipated by internal turbulence with only minimal overall reflection. Mooring loads are thus limited.

The configuration of the structure allows mooring to be concentrated at only two points with significant advantages in anchorage details, serviceability and relocation.

Fig. 1 Watson golfdempende constructie



Plan view



Section

Fig. 2 Watson goldfendepende constructie

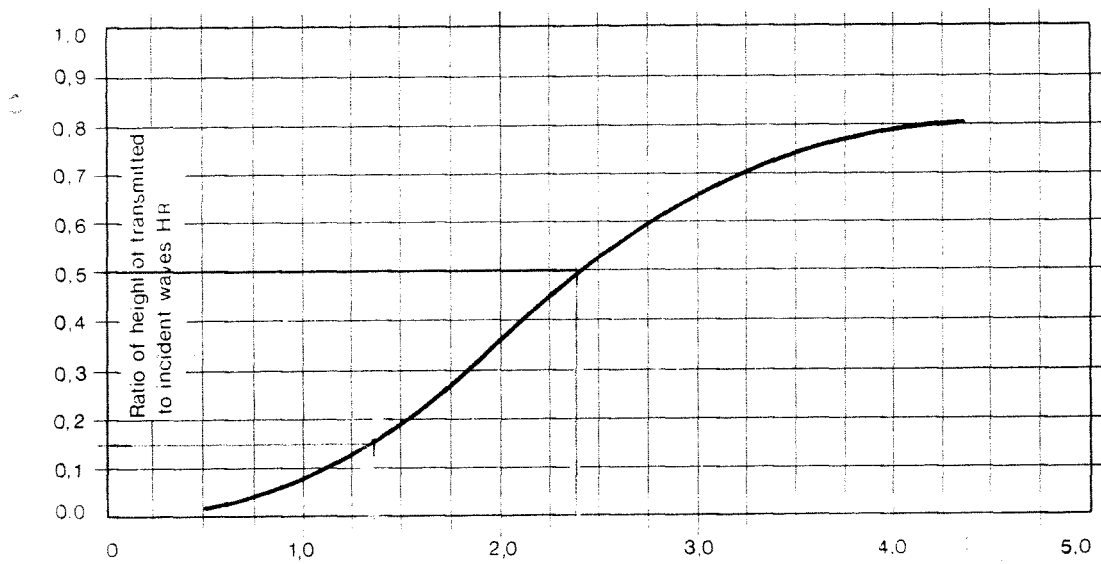


Fig. 3 Transmissiecoëfficiënt van de
Watson golfdepende constructie (diep water)

GOLFDEMPENDE CONSTRUCTIES

Deel II

Evaluatie van de drijvende golfdempende constructies
in het Grevelingenmeer

1. INLEIDING

Sinds de afsluiting van het Brouwershavensche Gat in 1971 en de instelling van een vast boezempeil op het Grevelingenmeer van N.A.P. -0,20 m worden de drooggevalle platen en slikken, welke in hoofdzaak uit zand bestaan, op een vast niveau aangevallen door de windgolven. Deze golfwerking veroorzaakt op veel plaatsen een doorgaande erosie van de oeverlijn en de opdiepe vooroever. Daardoor verplaatst de oeverlijn zich met meters per jaar landwaarts, ontstaat er een steile oeversrand en verdiept de ondiepe vooroever zich geleidelijk.

Ter beteugeling van de ernstigste erosie zijn er oevers en ondiepe vooroeverzones in het Grevelingenbekken beschermd door laag boven het water uitstekende grind/stortsteen dammen. Deze dammen liggen op enige afstand uit de oever in de ondiepe waterzone, gemiddeld op een waterdiepte van ca. 0,5 tot 1 m. Tussen de dammen zijn openingen uitgespaard om de wateruitwisseling met het meer mogelijk te maken.

Door de toepassing van de bovengenoemde oeversverdediging ontstaat er tussen de dammen en de oever een zone van rustig water. Enerzijds blijft hierdoor de door golfaanval veroorzaakte erosie op de oever beperkt. Anderzijds blijft de ondiepe waterzone in stand, welke uitermate geschikt is als fourageer- en rustgebied voor watervogels en de ontwikkeling van waterorganismen.

De toegepaste vooroeversverdediging vormt echter in de overgang van het water naar het land een "harde onnatuurlijke grens", die natuurwetenschappelijk gezien ongewenste effecten met zich mee kan brengen. Daarnaast worden er ook uit landschappelijk en recreatief oogpunt bezwaren tegen deze dammen aangevoerd. De watercirculatie achter de grinddammen kan namelijk, vooral 's-zomers, een probleem vormen. Het ondiepe water tussen de grind/stortsteen dammen en de oever wordt bij weinig wind onvoldoende ververst. Hierdoor ontstaat bij zonnig weer een sterke opwarming van het water, waardoor de kans op een ongewenste sterke algenvorming en -bloei, alsmede de kans op botulisme toeneemt.

Op grond van de bezwaren die aan een vaste vooroeversverdediging zijn verbonden is, door een indertijd ingestelde Natuurwetenschappelijke

Adviesgroep voor het Grevelingenbekken, voorgesteld, om na te gaan in hoeverre er met drijvende golfdempende constructies een oplossing kan worden geboden aan de negatieve effecten van vaste vooroeverconstructies.

Naar aanleiding van de discussies in de Natuurwetenschappelijke Adviesgroep en het Projectbureau belast met de inrichting van het Grevelingenbekken is het idee van de drijvende golfkeringen verder uitgewerkt door de Deltadienst.

Op basis van een toendertijd uitgevoerde literatuurstudie is geadviseerd om brede, vlotachtige constructies te beproeven. De krachten op de verankering van dat type constructie zouden relatief laag zijn en de erosie ter plaatse van de constructie gering. De breedte van de constructie zou in de orde van grootte van de golflengte moeten liggen voor een reductie van de golfhoogte van 60 à 70%. Daarnaast is uit visuele waarnemingen gebleken dat drijvende persleidingen een golfdempende werking hebben.

Uitgaande van het bovengenoemde advies en de visuele waarnemingen is in 1978 besloten om praktijkproeven uit te voeren met gekoppelde houten drijfschotten en gekoppelde kunststof buizen. De drijfschotten waren reeds voorhanden, namelijk afkomstig van de afsluitingswerken.

Als proeflokatie is gekozen voor de noordwestkop van de Veermansplaat. Deze kop was namelijk nog niet verdedigd en werd sterk door de golven aangevallen (zie figuur 2.1).

In dit deel wordt een evaluatie gegeven van de beide beproefde constructies met betrekking tot de golfdempende werking, de verankering en de morfologische consequenties ter plaatse van de constructies.

2. NADERE BESCHRIJVING VAN DE DRIJVENDE CONSTRUCTIES

In 1978 zijn twee typen drijvende constructies aangelegd in de ondiepe oeverzone voor de noordwestkop van de Veermansplaat (figuren 2.1, 2.2 en 3.2.1). Deze constructies bestonden uit:

- 5 secties van elk 7 drijfschotten, waarvan de schotten met elkaar en ter plaatse van de uiteinden van elke sectie met 2 meerpalen werden gekoppeld door stalen kettingen.
- 5 secties van elk 4 kunststof drijvers, waarvan de koppeling van de drijvers met elkaar en met de meerpalen eveneens tot stand werd gebracht met stalen kettingen.

In een vroeg stadium na aanleg werden de koppelingen van diverse drijvers ernstig beschadigd, zodat deze proefneming voortijdig moest worden beëindigd.

In 1982 werd een geheel gereconstrueerde drijvende golfdempende constructie aangelegd. Deze constructie bestaat eveneens uit 2 types, nl.:

- a. 5 secties van elk 4 kunststof drijvers, per sectie lang ca. 45 m
- b. 5 secties van elk 7 houten drijfschotten, per sectie lang ca. 45 m

ad a

Een sectie kunststof buizen bestaat uit 4 buizen, uitwendig ca. Ø 0,70 m, lang 10 m, in lengterichting aan elkaar gekoppeld en bevestigd aan 2 meerpalen, door middel van een door buizen gevoerd polypropyleen touwwerk, dik Ø 64 mm. De totale lengte van een sectie bedraagt 45,40 m. De buizen worden onderling van elkaar en van de meerpalen gescheiden door 2 H.P.E.-afstandhouders Ø 160 mm, elk lang 0,50 m.

ad b

Een sectie houten vlotten bestaat uit een samenstel van 7 drijfschotten, groot 5,20 x 3,30 m dik 0,30 m welke door een nylontouw, dik Ø 72 mm, zijn gekoppeld en bevestigd aan 2 meerpalen. De totale lengte van een sectie bedraagt eveneens 45,40 m. De schotten worden onderling en van de meerpalen gescheiden door een tiental autobanden, welke aan het nylon-touw zijn bevestigd. Een schets van de constructies is gegeven in de figuur 2.3.

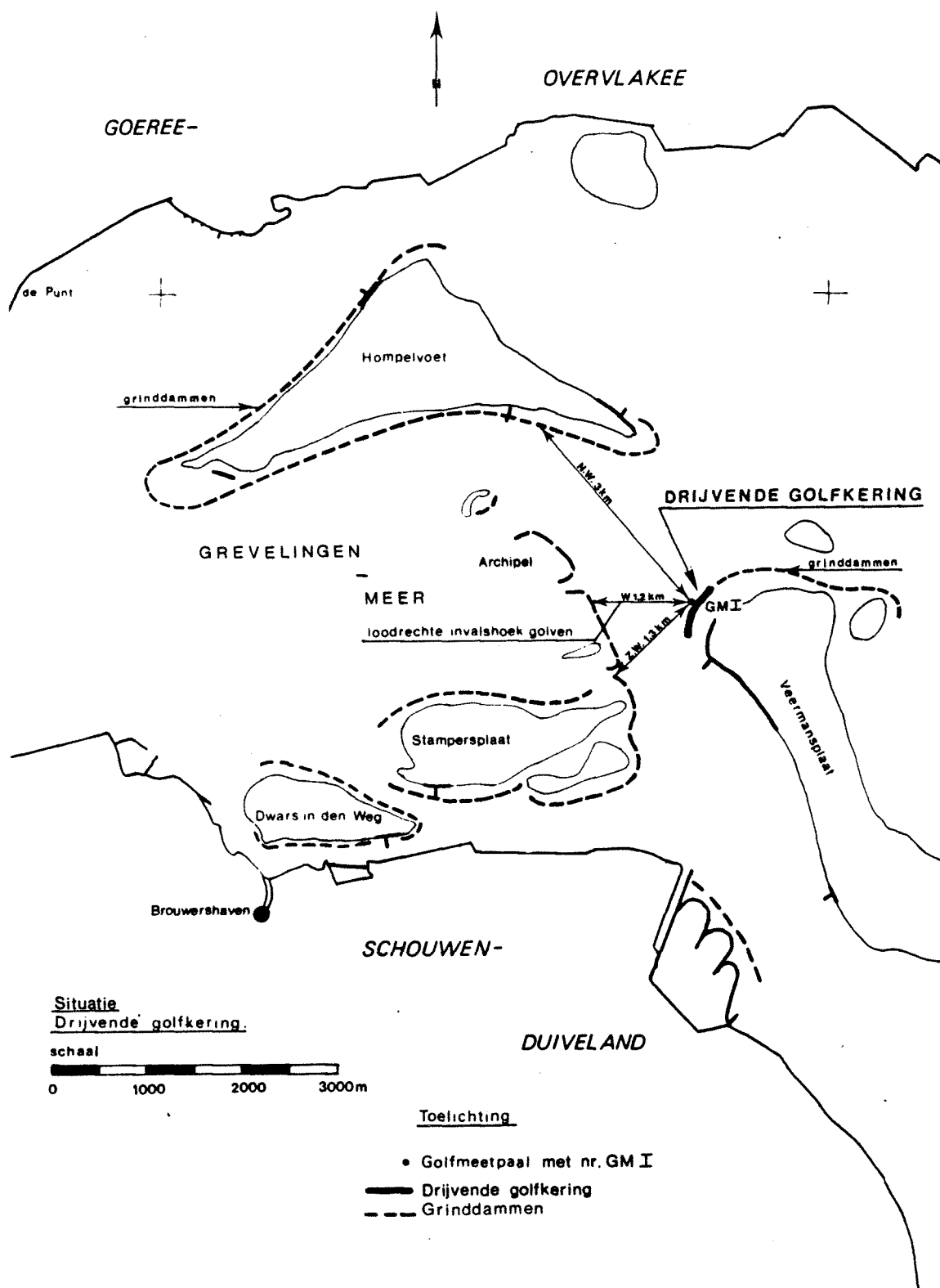


Fig. 2.1. Lokatie golfdempende constructies.

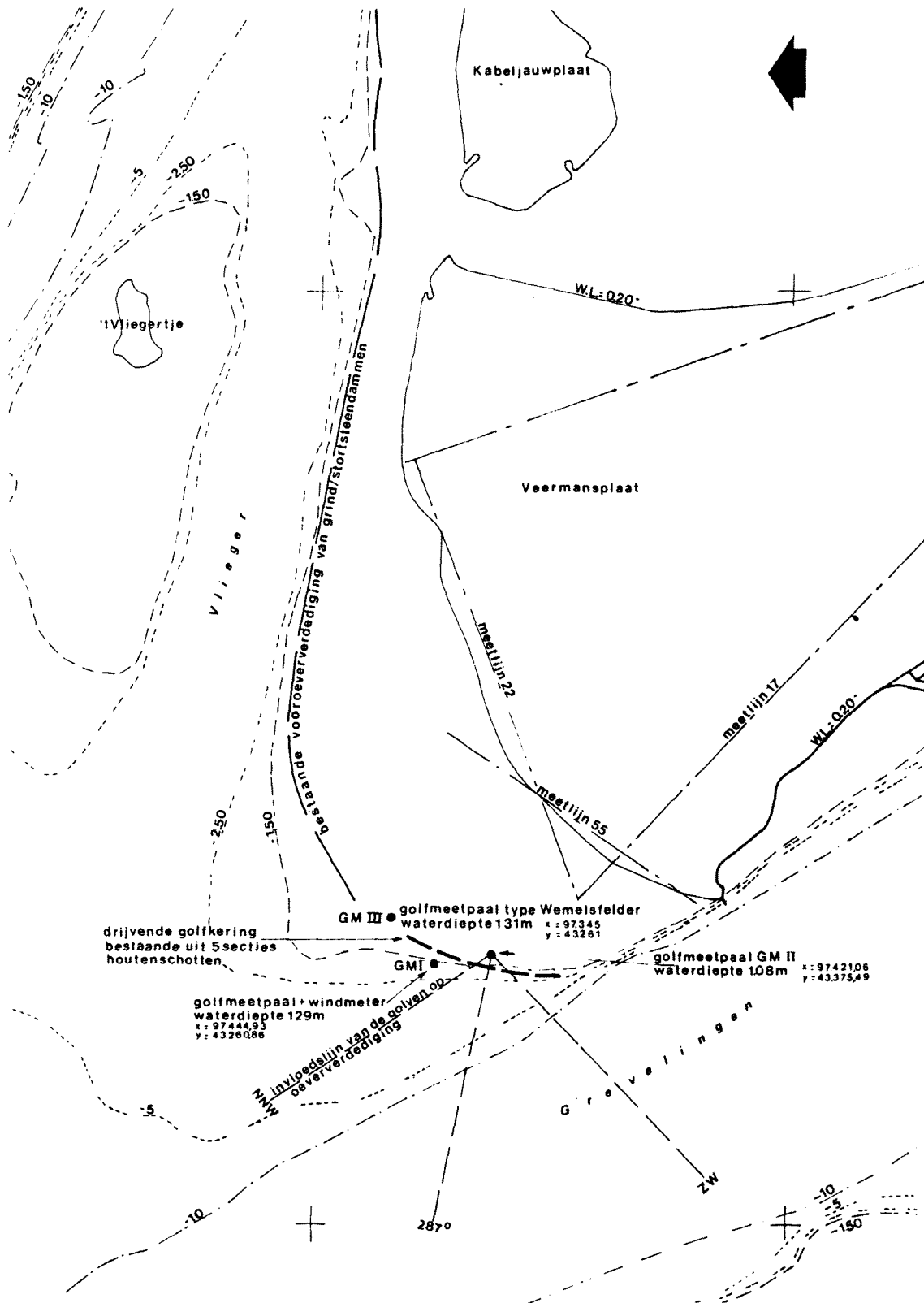


Fig. 2.2. Lokatie golfdempende constructies (detail).

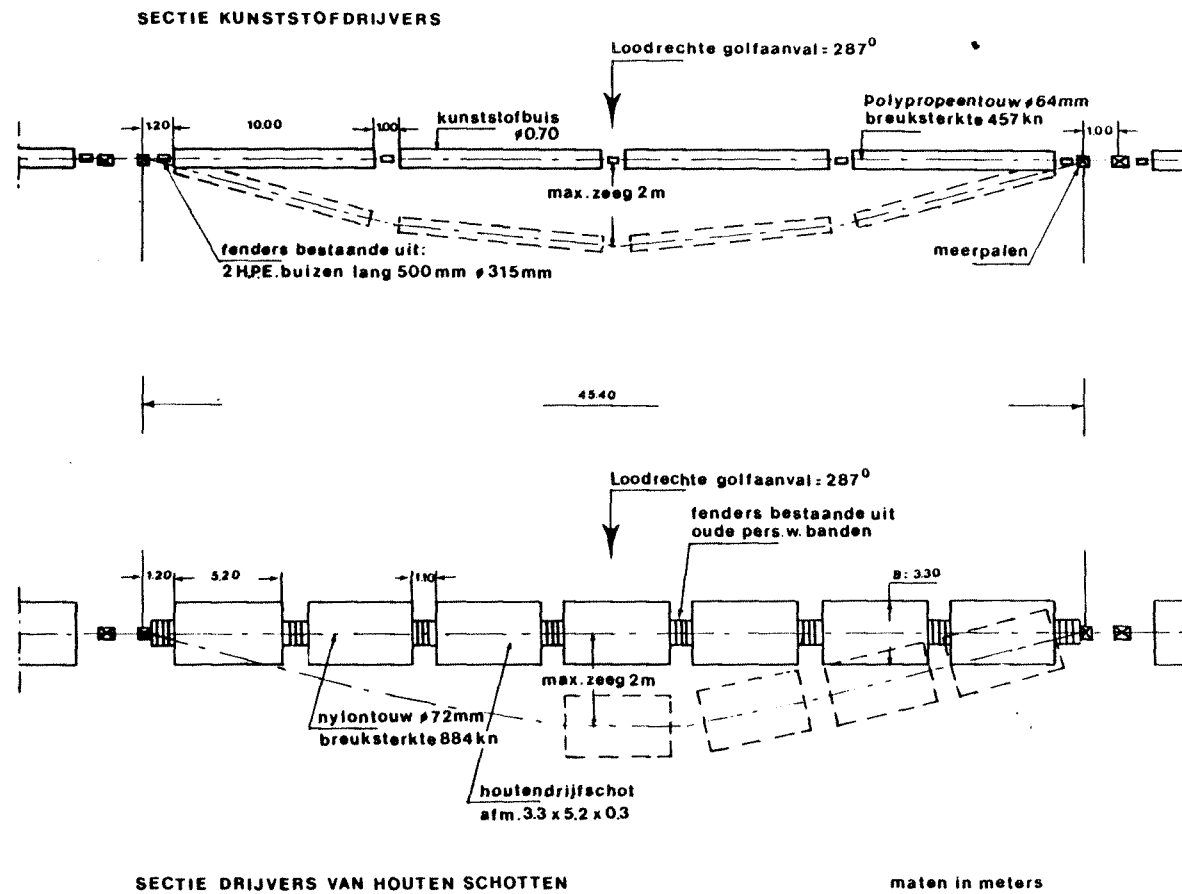


Fig. 2.3. Bovenaanzicht drijvende golfkering (afkomstig van bestektekening 80M105).

3. EVALUATIE VAN DE GOLFDEMPENDE WERKING VAN DE DRIJVENDE CONSTRUCTIES

3.1 Inleiding

In het navolgende wordt aan de hand van de resultaten van het bij deze studie behorende literatuuronderzoek nagegaan wat verwacht kan worden van de golfdempende constructies voor de kop van de Veermansplaat. De uitkomsten worden vergeleken met resultaten verkregen uit metingen. De metingen ten behoeve van de kunststof drijvers zijn wat dat betreft uiterst summier, omdat de registratie van de gegevens voor en achter de constructie veelal niet synchroon verliep. De effecten op de oever zijn niet onderwerp van de proef geweest en worden derhalve hier slechts zijdelings behandeld.

3.2 Omgevingscondities

De constructies zijn gelegen op een afstand van 300 - 500 m van de oever (zie figuur 3.2.1). De waterdiepte ter plaatse varieert van 0,80 m tot 1,20 m. De bodem bestaat uit zand.

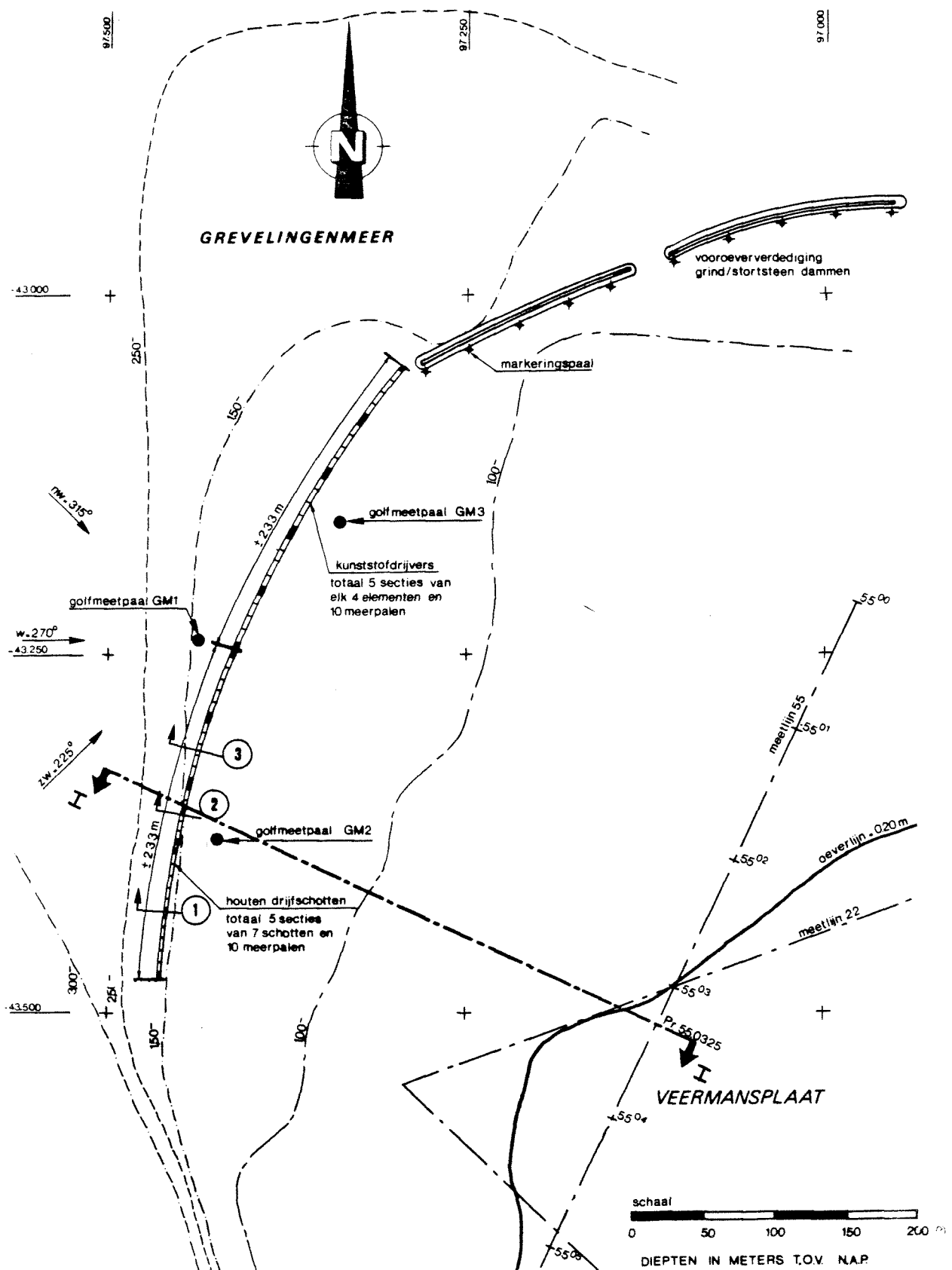
De maximale significante golfhoogte voor de constructies is ca. 0,70 m (Dit stemt overeen met een waterdiepte bij de golfmeetpaal van ca. 1,20 m en een brekerindex van 0,6). De maximaal optredende golflengte wordt geschat op 15 m.

3.3 Benodigde demping

Ter voorkoming van oevererosie wordt aangenomen dat de golfhoogte achter de golfdempende constructie niet meer dan 0,1 - 0,4 m mag bedragen. Dit is niet meer dan een schatting, omdat niet voldoende onderzoeksgegevens beschikbaar zijn.

De maximaal inkomende golfhoogte is $H_I = 0,70$ m. De maximaal toelaatbare doorgelaten golfhoogte is $H_T = 0,1 - 0,4$ m. Dat betekent dat de transmissiecoëfficiënt ($C_T = H_T/H_I$) moet liggen tussen 0,15 en 0,6.

In dit verhaal is nog geen rekening gehouden met golfgroei achter de constructie. Doordat achter de constructie een relatief grote strijklengte aanwezig is, kunnen de gedempte golven achter de



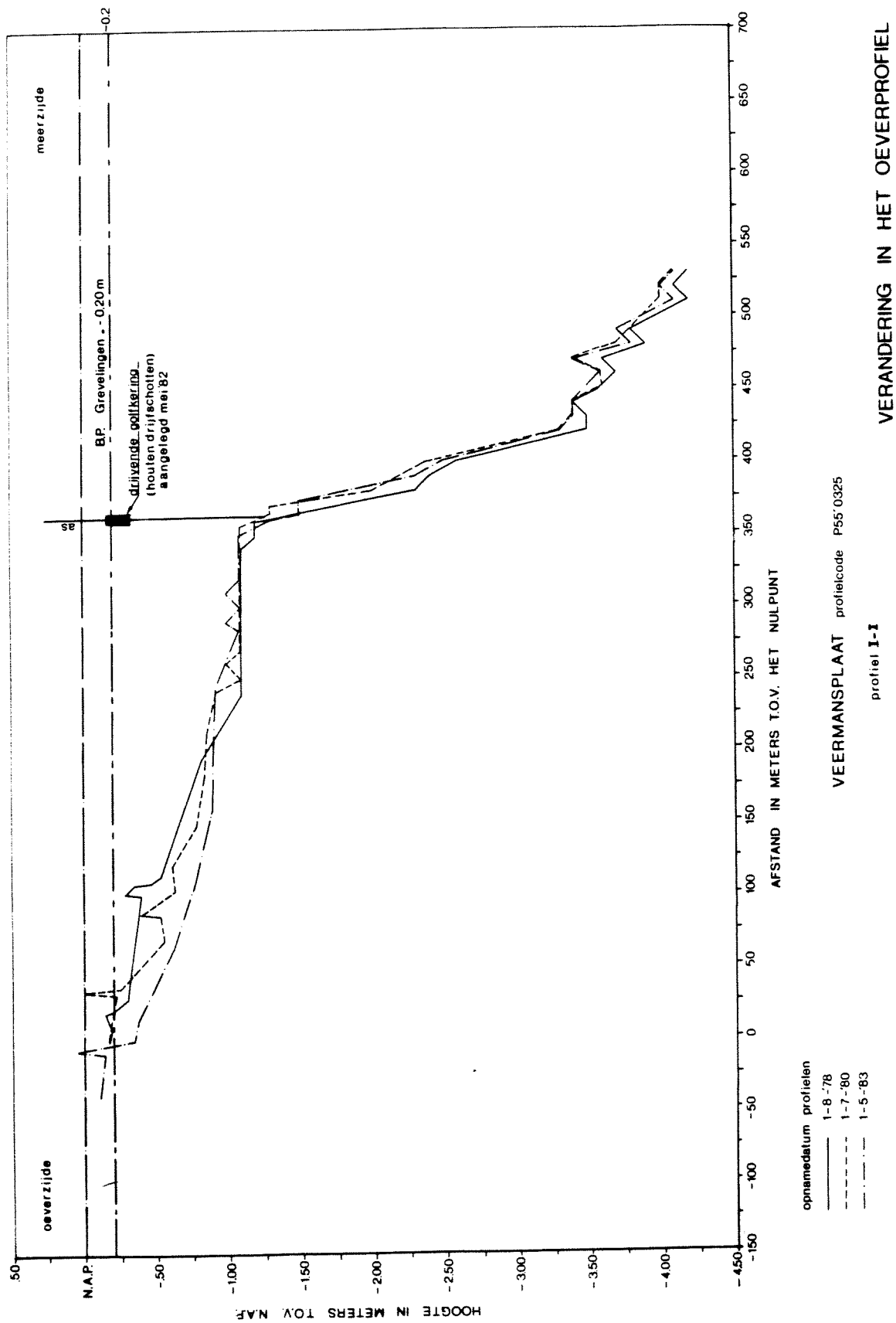


Fig. 3.2.2. Situatie drijvende golfkering
(dsn. I-I van figuur 3.2.1).

constructie weer aangroeien, figuur 3.3.1 (volgens Bretschneider [1954]). Derhalve zal de demping van de constructie ter compensatie van dit effect wat beter moeten zijn. Aangenomen wordt, dat de transmissiecoëfficiënt zal moeten liggen tussen 0,2 en 0,4.

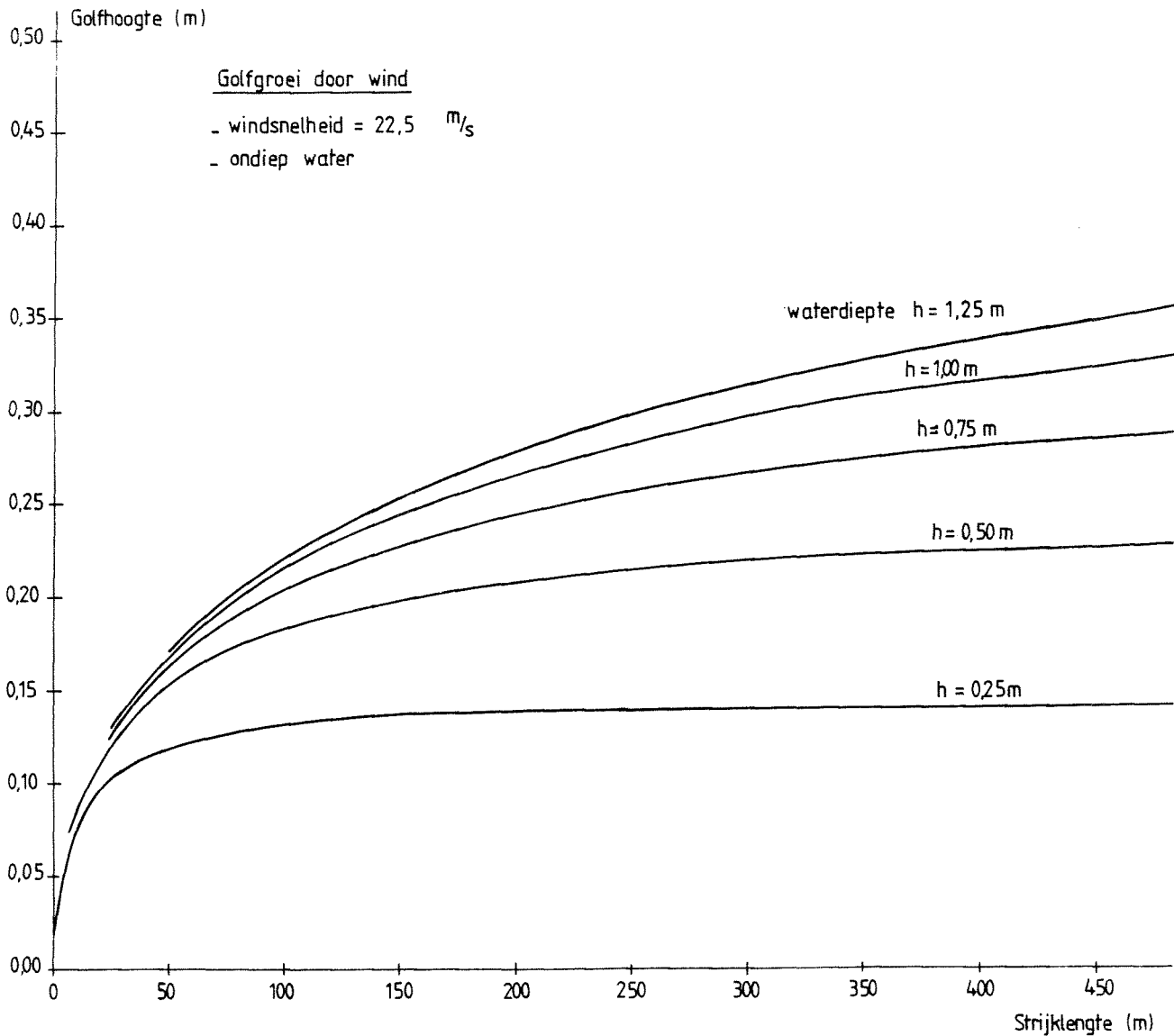


Fig. 3.3.1. Golfgroei in ondiep water (volgens Bretschneider (1954)).

Een andere mogelijkheid is, de constructie dichterbij de oever te plaatsen. De golfgroei zal dan minder zijn. Een nadeel van deze oplossing zou kunnen zijn, dat een kleiner deel van de ondiepe vooroever wordt beschermd.

3.4 Theoretisch golfdempende werking

3.4.1 Kunststof drijvers

De kunststof drijvers ($\emptyset$ 0,70 m) hebben aanvankelijk een diepgang D van ca. 0,45 m, later van 0,55 m t.g.v. zwaarder worden door aangroei. De waterdiepte h bij de kunststof drijvers varieert van 1,0 tot 1,2 m. De relatieve diepgang van de drijvers is derhalve $D/h = 0,38 - 0,45$. De te dempen golven hebben een lengte $L \approx 15$ m.

De kunststof drijvers werken primair als golfreflectoren. Daarom wordt eerst bekeken wat de transmissiecoëfficiënt is volgens de theorie van Wiegel [1960]. Nadeel is dat deze theorie bedoeld is voor vaste platen. Daardoor zullen in het algemeen de transmissiecoëfficiënten hoger zijn dan de berekende. De formule is:

$$C_T = \sqrt{\frac{\frac{4\pi(h-D)}{L} + \sinh\left(\frac{4\pi(h-D)}{L}\right)}{\frac{4\pi h}{L} + \sinh\left(\frac{4\pi h}{L}\right)}}$$

Voor $D = 0,45$ m, $h = 1,10$ m en $L = 15$ m is $C_T = 0,75$. Voor de vaker voorkomende golven met een lengte van ca. 10 m is $C_T = 0,73$. Door meebewegen van de drijvers met de golven vermindert de reflecterende werking en neemt de transmissie toe. Hierop is een uitzondering: als de optredende golfperioden ongeveer gelijk zijn aan de eigentrillingsperiode van de drijvers is de transmissie vaak erg klein. Dit komt doordat de bewegingen van de drijvers tegengesteld zijn aan de golfbeweging (180° faseverschil), met als gevolg: meer reflectie. Dit verschijnsel komt tot uitdrukking in figuur 3.4.1.1, voor de waarden $\sigma^2 h/g = \text{ca. } 0,5$ en $\text{ca. } 1,75$ ($\sigma = 2\pi/T$, de cirkelfrequentie van de golven).

Gezien het voorgaande is de verwachting dat de transmissiecoëfficiënt orde $C_T = 0,8$ zal zijn.

3.4.2 Houten drijfschotten

De houten schotten (5,2 x 3,0 x 0,3 m) hadden oorspronkelijk een diepgang van 0,15 à 0,2 m. Ten gevolge van aangroei en opnemen van water is de diepgang toegenomen tot 0,25 à 0,28 m, voor de berekening:

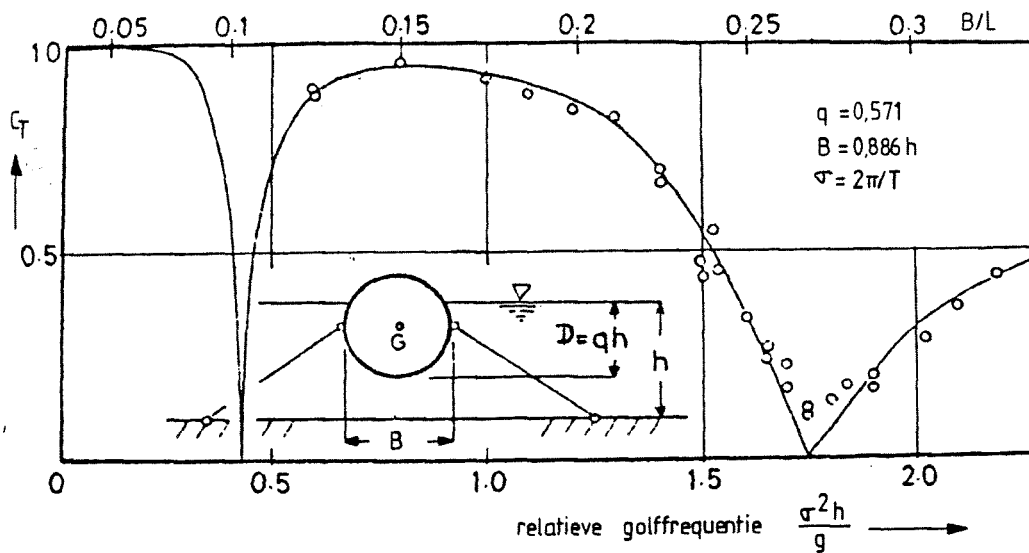


Fig. 3.4.1.1. Transmissiecoëfficiënt van een drijvende verankerde cilinder (dalen in de C_T -kromme treden op bij de eigen frequenties van de constructie).

0,28 m. Onder de vlotten zijn (dwars op de golfvoortplantingsrichting) nog een drietal balken bevestigd (0,15 x 0,075 m, figuur 3.4.2.1), zodat de totale diepgang ongeveer $0,28 + 0,15 = 0,43$ m is. De relatieve diepgang bij een waterdiepte van 0,8 - 1,2 m is dan $D/h = 0,36 - 0,54$.

Voor vlotten met geringe diepgang heeft John [1949] theoretisch bepaald wat de golfdempende werking zal zijn (figuur 3.4.2.2). Voor $B/L = 3/15 = 0,2$ is de theoretische transmissiecoëfficiënt $C_T = 1$. Dat is voor dit geval uiteraard niet reëel, daar de relatieve diepgang erg groot is. Deze vlotten zullen daardoor veel dempen door reflectie tegen de voorkant. Bovendien kunnen de aan de onderzijde van het vlot bevestigde balkjes voor enige dissipatie zorgen.

Wordt de constructie als een vaste reflecterende wand beschouwd, dan is de transmissiecoëfficiënt te bepalen met de theorie van Wiegel [1960], zie paragraaf 3.4.1. Voor $D = 0,43$ m en $L = 15$ m is de transmissiecoëfficiënt: $C_T = 0,74$ (Voor een golf die 10 m lang is, is de transmissiecoëfficiënt: $C_T = 0,72$).

Factoren die de damping nog kunnen beïnvloeden zijn de breedte van de constructie, de dissipatie bij de balken aan de onderkant, de verankering (slap of stijf) en de bewegingen van de constructie. De

transmissie wordt kleiner bij een grotere constructiebreedte, een stijvere verankering en een grotere diepgang (door mosselaangroei en waterindringing). De grootte van de transmissiecoëfficiënt zal vermoedelijk 0,6 à 0,8 zijn.

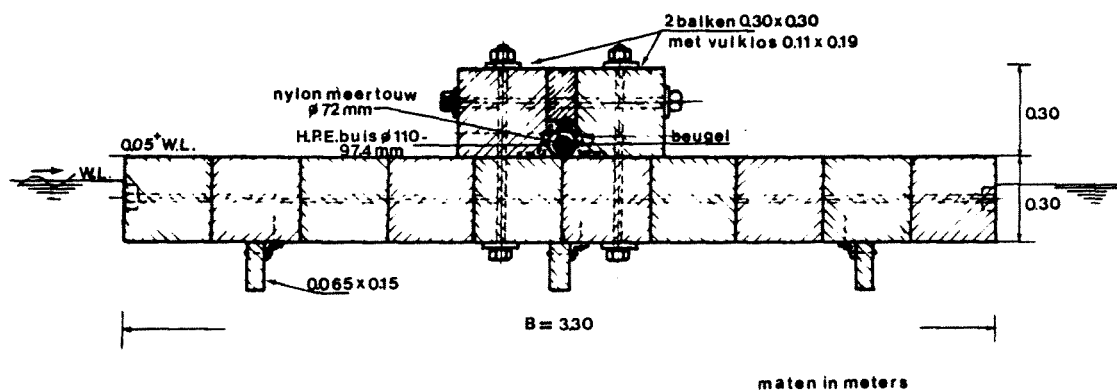


Fig. 3.4.2.1. Doorsnede houten drijfschot (maten in meters).

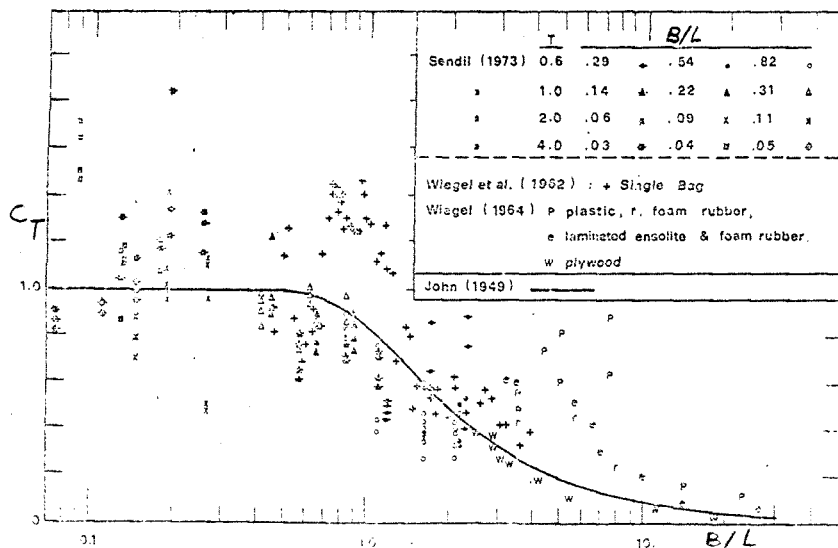


Fig. 3.4.2.2. C_T volgens theorie van John, vergeleken met metingen van Sendil en Wiegel.

3.5 Gemeten golfdempende werking

3.5.1 Kunststof drijvers

Gedurende de periode dat de kunststof drijvers gefunctioneerd hebben zijn de golfhoogten voor en achter de drijvers enige tijd gemeten met

meting nr.	waterdiepte h/(m)	D/h	GM1				GM2				C_T	wind- richting (°)	wind- kracht (m/s)
			H_s (m)	T_s (s)	Londiep (m)	H/L	H_s (m)	T_s (s)	Londiep (m)	H/L			
1	1,09	0,41	0,24	3,2	10,1	0,023	0,17	3,0	9,4	0,018	0,71	340-360	9-11
2	1,13	0,40	0,35	2,6	8,1	0,043	0,23	2,8	8,8	0,026	0,68	240-260	14-16
3	1,27	0,35	0,22	2,4	7,6	0,029	0,22	3,1	10,5	0,021	1,0	240-250	17-13
4	1,02	0,44	0,36	2,6	7,8	0,046	0,19	3,0	9,2	0,021	0,53	230-250	19-20
5	1,06	0,42	0,33	2,6	7,9	0,042	0,18	3,1	9,7	0,019	0,55	270-250	20-16
6	0,92	0,49	0,29	2,9	8,4	0,035	0,20	2,9	8,4	0,024	0,69	220-250	10-12
7	1,24	0,36	0,33	3,1	10,4	0,032	0,18	2,6	8,4	0,021	0,54	250-255	13
8	1,24	0,36	0,33	3,0	10,1	0,033	0,33	3,2	10,7	0,031	1,0	250-255	16
9	1,24	0,36	0,36	3,2	10,7	0,034	0,29	3,1	10,4	0,028	0,81	300	18
10	1,25	0,37	0,24	2,4	7,5	0,032	0,21	2,9	9,6	0,22	0,85	330-345	14-16

Diepgang $D \approx 0,45$ m Bodemligging bij kunststof drijvers: $\sim$ NAP -1,30 m.

Richting van loodrecht invallende golven is ca. 300°.

Tabel 3.5.1.1. Bewerking van metingen betreffende golfdamping kunststof drijvers.

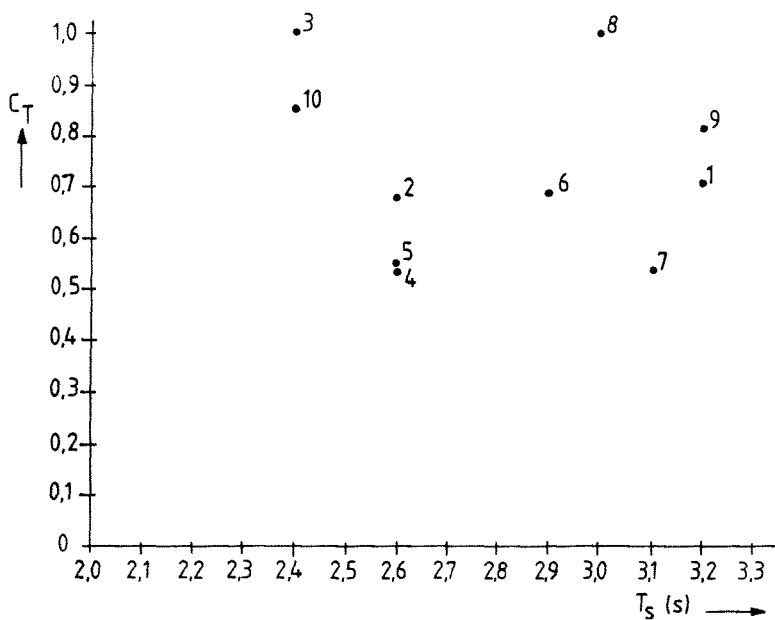


Fig. 3.5.1.1. Transmissiecoëfficiënten van de kunststofdrijvers.

golfmeetinstrumenten van het type Wemelsfelder. In verband met het ontbreken van een goede tijdschaal op de registratierollen met golfgegevens, is het niet mogelijk om exact te bepalen wanneer er synchroon gemeten is. De golven werden niet continu gemeten. De apparatuur werkt op een door golven aangedreven mechanisme, dat golfperioden van 50 m geïntegreerde golfhoogte registreert en daarna een periode van 250 m geïntegreerde golfhoogte niet vastlegt. De instrumenten werden maandelijks gecontroleerd op hun werking, waarbij op de golfregistratierollen een tijdsaanduiding werd aangebracht.

Van een negental (zoveel mogelijk synchrone) metingen zijn in tabel 3.5.1.1 de resultaten weergegeven. In die tabel zijn ook de transmissiecoëfficiënten berekend. Deze zijn uitgezet in figuur 3.5.1.1. Door het geringe aantal waarnemingen en de grote spreiding daarin, zijn geen eenduidige conclusies te trekken ten aanzien van de golfdempende werking van de kunststof drijvers.

Uit de tabel komt enigszins de verwachte tendens naar voren dat grotere relatieve diepgangen gepaard gaan met kleinere transmissiecoëfficiënten (De relatieve diepgang varieert doordat de waterstand van het Grevelingenmeer varieert). Dat duidt erop dat reflectie het belangrijkste dempingsmechanisme is.

3.5.2 Houten drijfschotten

De golfhoogten voor en achter de schotten zijn in eerste instantie ook gemeten met Wemelsfelders. Vanwege het veelal niet synchroon lopen van de golfmetingen is later overgaan op een systeem met synchrone registratie. De resultaten van die metingen zijn opgeslagen in computerbestanden. Uit de gegevens kunnen diverse golfparameters worden gehaald, zoals gemiddelde en significante golfhoogte, gemiddelde en significante golfperiode en spectrumwaarden van het energiedichtheidsspectrum (bijlagen I en II).

Met behulp van meetresultaten uit de periode 24-11-1983 tot 12-04-85 zijn transmissiecoëfficiënten bepaald bij optredende golffrequenties. De transmissiecoëfficiënten zijn berekend uit de significante golfhoogten voor en achter de constructie: $C_T = H_T/H_I$. Een en ander is weergegeven in figuur 3.5.2.1. Uit de puntenwolk van de figuur laat zich geen duidelijk verband afleiden tussen de transmissiecoëfficiënt en de golffrequentie. De gemiddelde waarde is ongeveer 0,7.

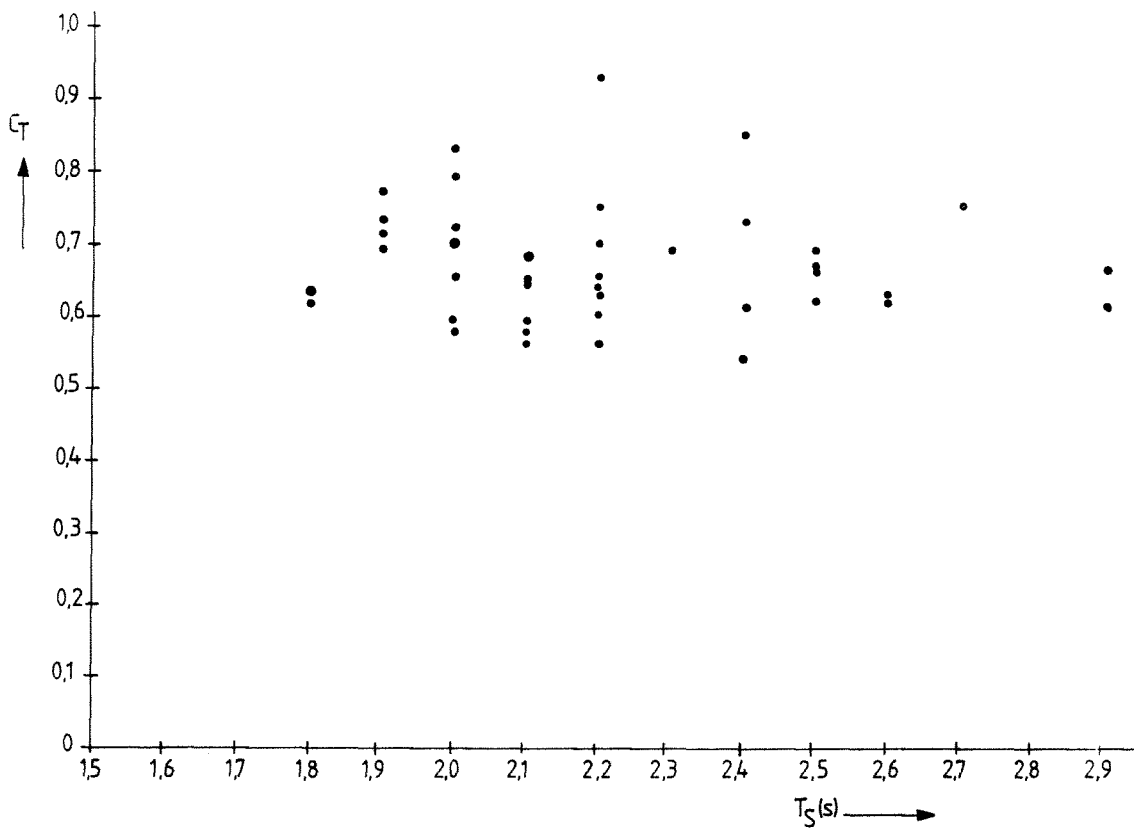


Fig. 3.5.2.1. Transmissiecoëfficiënten van de houten schotten (voor loodrecht invallende golven: windrichting 265° à 295°).

Omdat figuur 3.5.2.1 relatief weinig informatie geeft over het golfdempende gedrag wordt gebruik gemaakt van een andere presentatie van golfgegevens: er wordt gebruik gemaakt van energiedichtheidsspectra. Deze spectra geven meer informatie over de golven, dan de significante golfhoogten. De transmissiecoëfficiënten worden bepaald door bij iedere golffrequentie de spectrumwaarden van de doorgegeven en inkomende golven op elkaar te delen, en daar de wortel uit te trekken:

$$C_T(f) = (S_T(f)/S_I(f))^{\frac{1}{2}}$$

met f = golffrequentie
 S = energiedichtheidsspectrum

In de figuren 3.5.2.2 en 3.5.2.3 zijn de zo bepaalde transmissiecoëfficiënten voor een aantal windrichtingen en -snelheden

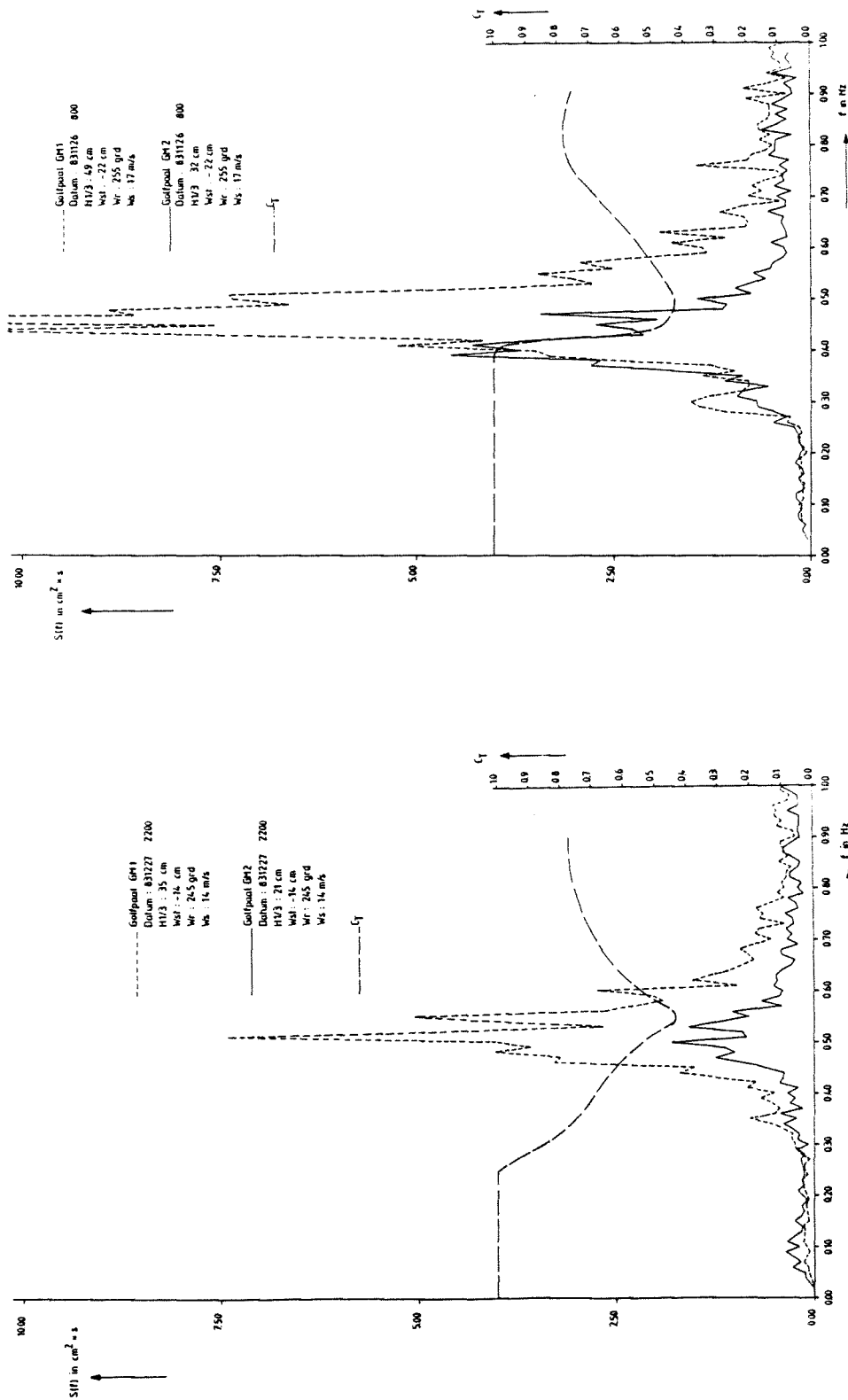


Fig. 3.5.2.2. Golfspectra en transmissiecoëfficiënten van de houten schotten.

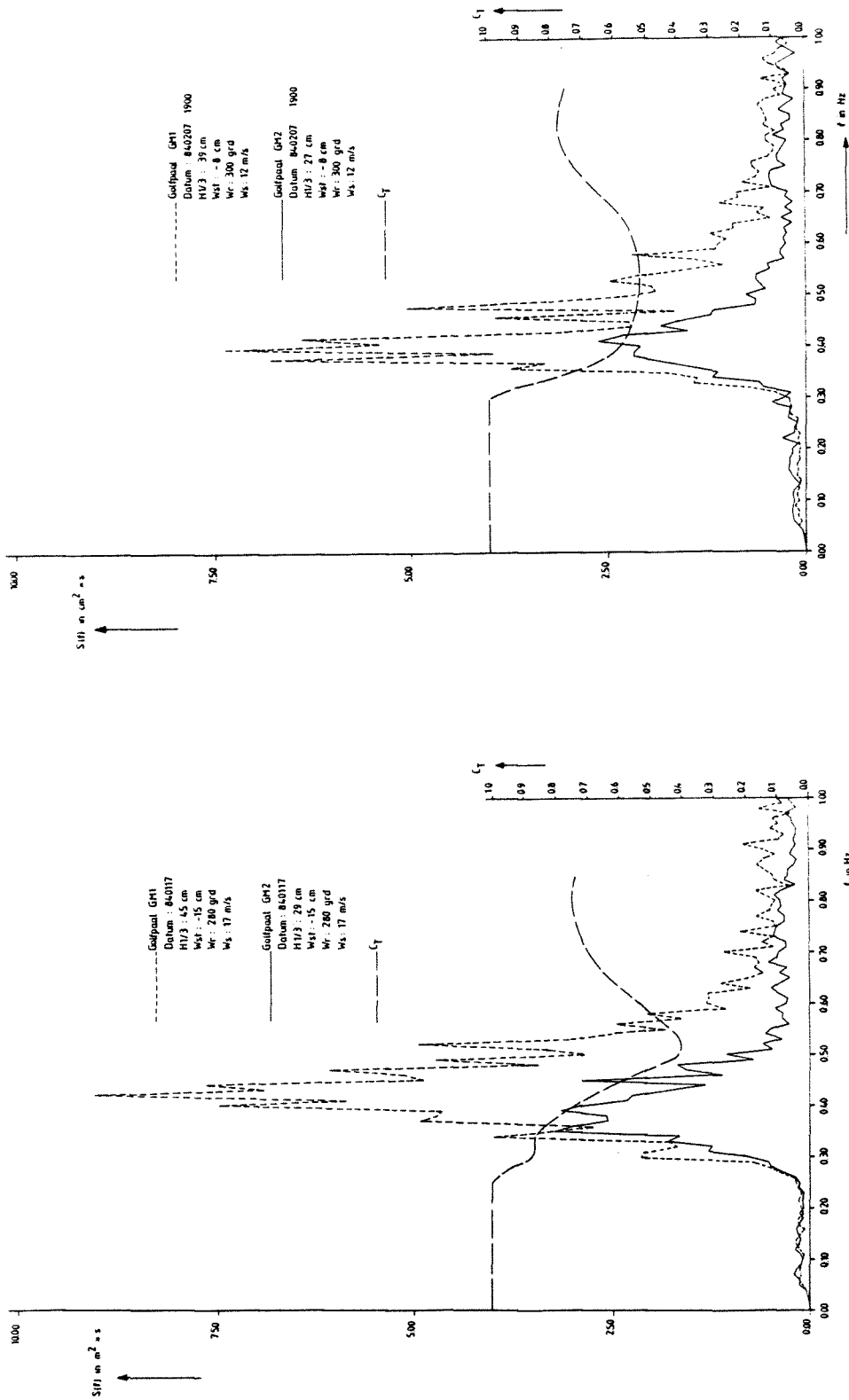


Fig. 3.5.2.3. Golfspectra en transmissiecoëfficiënten van de houten schotten.

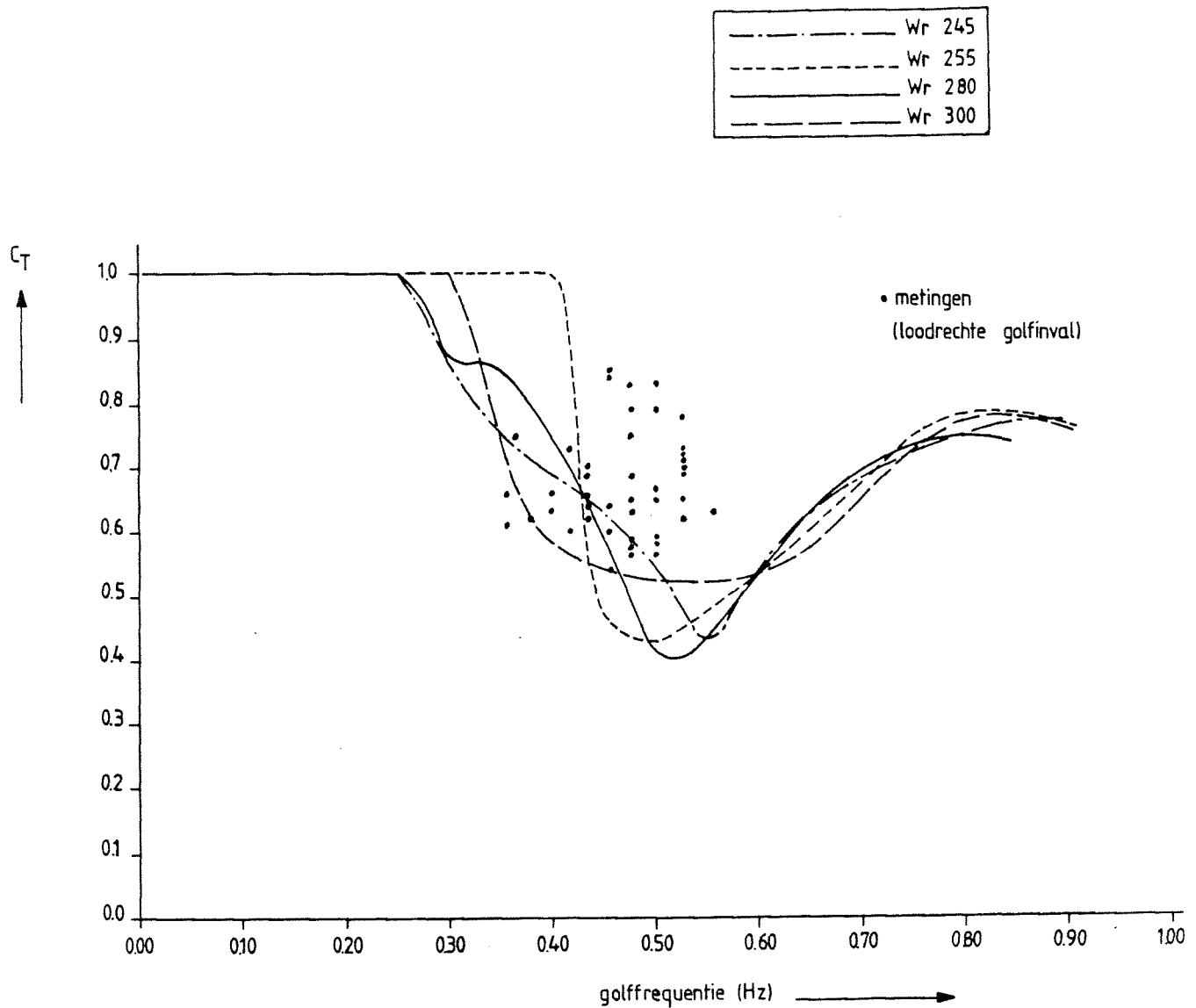


Fig. 3.5.2.4. C_T voor houten schotten uit spectra en significante golfhooften.

weergegeven, evenals de gebruikte spectra. De C_T -waarden zijn gemiddelden. In figuur 3.5.2.4 zijn de transmissiecoëfficiënten bij elkaar gezet.

Nu is een duidelijk verband te zien tussen C_T en f (Voor waarden van f groter dan ca. 0,7 Hz zijn de uitkomsten minder betrouwbaar vanwege de onnauwkeurigheid van het golfmeetsysteem). In de buurt van $f = 0,5$ Hz is een minimum in de transmissiecoëfficiënt te zien. Dat komt waarschijnlijk doordat de eigenfrequentie van de rolbeweging van de schotten

ongeveer 0,5 Hz is, terwijl de fase van de beweging 180° verschilt met de golfbeweging. Dit geeft extra demping.

Uit figuur 3.5.2.4 blijkt ook dat het voor de golfdemping weinig verschil uitmaakt uit welke richting de wind komt. Verder neemt de werking sterk af voor frequenties kleiner dan 0,4 Hz (golfperiodes groter dan 2,5 s).

3.6 Vergelijking benodigde, theoretische en gemeten golfdempende werking

3.6.1 Kunststofdrijvers

In paragraaf 3.4.1 is, uitgaande van de veronderstelling dat de drijvers voornamelijk door reflectie dempen, de verwachting uitgesproken dat de transmissiecoëfficiënt ongeveer 0,8 zal zijn. Daarbij is er vanuit gegaan dat door het met de golven meebewegen van de drijvers de demping slechter is dan van een vaste verticale plaat met dezelfde diepgang. Om te zien of het klopt dat de demping voornamelijk door de reflectie wordt bepaald, zijn in figuur 3.6.1.1 zowel de meetresultaten van de drijvers als de C_T -waarden van een vaste verticale plaat (methode Wiegel) weergegeven. Ondanks het geringe aantal meetpunten lijkt inderdaad reflectie voor de meeste demping te zorgen.

In figuur 3.6.1.1 zijn ook lijnen weergegeven voor de geschatte benodigde demping als de doorgelaten golven niet hoger mogen zijn dan $H_T = 0,1, 0,2, 0,3$ en $0,4$ m.

Werkwijze: uitgaande van een waarde van D/L (figuur 3.6.1.1) wordt L bepaald (D is bekend). Daaruit wordt T_s berekend. Met $T_s = 1,2 \sqrt{10H_s}$ wordt H_s bepaald (meetresultaten voldoen hier redelijk aan). H_T en $H_I (= H_s)$ zijn nu bekend, zodat C_T bepaald kan worden.

Er is al gebleken dat de demping van de drijvers onvoldoende was om oevererosie tegen te gaan. Daar kunnen een aantal oorzaken voor zijn:

- a - onderschatting van de golfgroei achter de constructie
- b - overschatting van de toelaatbare golfhoogte bij de oever
- c - erosie door langstransport langs de oever
- d - overige 3-dimensionale effecten

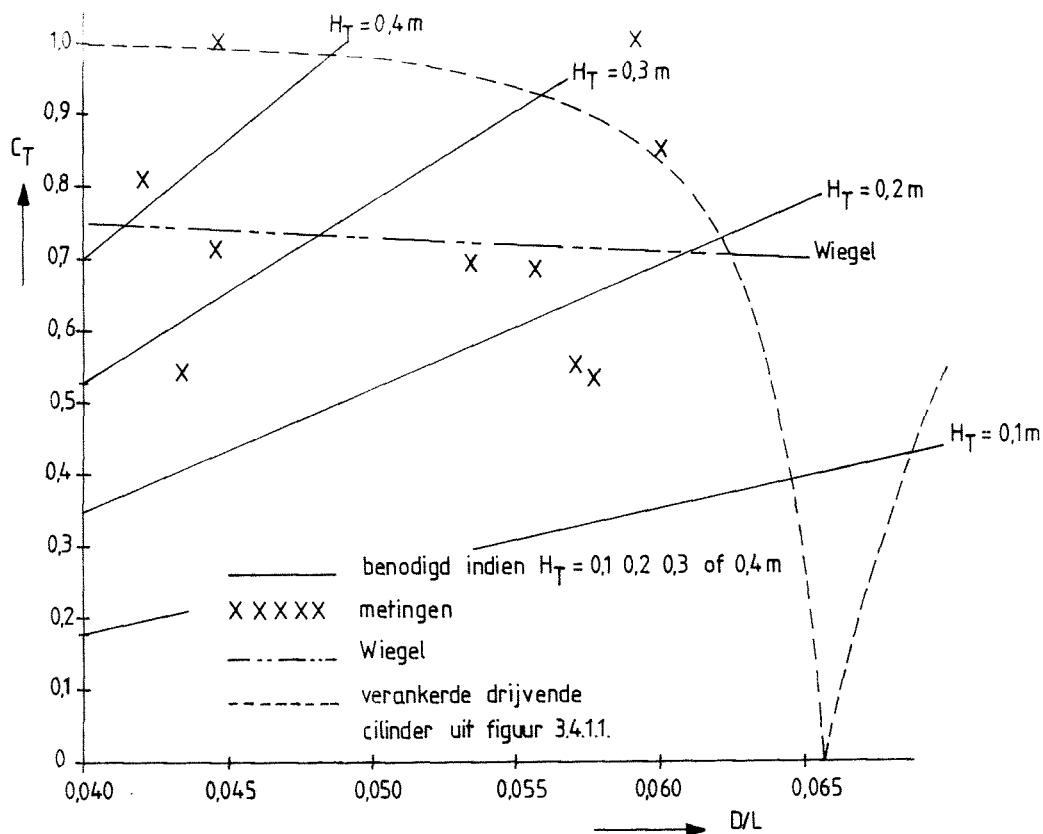


Fig. 3.6.1.1. Transmissiecoëfficiënt van kunststofdrijvers als functie van D/L (L = lokale golflengte).

ad a

De invloed van de golfgroei kan verminderd worden door de constructie dichter bij de oever te situeren (kortere strijklengte), of een constructie te gebruiken die beter dempt (lagere aanvangsgolfhoogte). Gezien de grote afstand tussen constructie en oever (300 à 500 m) zal de golfgroei een aanzienlijke invloed hebben.

ad b

Om te bepalen of de toelaatbare golfhoogten bij de oever inderdaad overschat zijn, is nader onderzoek nodig.

ad c

Als langstransport in belangrijke mate bijdraagt, is een ander soort constructie nodig (bijv. een strekdam). Er is derhalve onderzoek nodig naar de oorzaak van de erosie (golven of langstransport).

ad d

In het voorgaande is veelal uitgegaan van een 2-dimensionale situatie: loodrecht op een constructie aankomende golven. Daarbij is verondersteld dat de constructieafmeting oneindig is. In werkelijkheid is dat niet zo. Dat betekent, dat schief invallende golven invloed hebben op het gebied achter de constructie, zie figuur 3.6.1.2. Als met een golfdempende constructie de oever tegen erosie beschermd moet worden, moet er in ieder geval voor gezorgd worden dat het te beschermen oevergedeelte in het schaduwgebied van de constructie ligt.

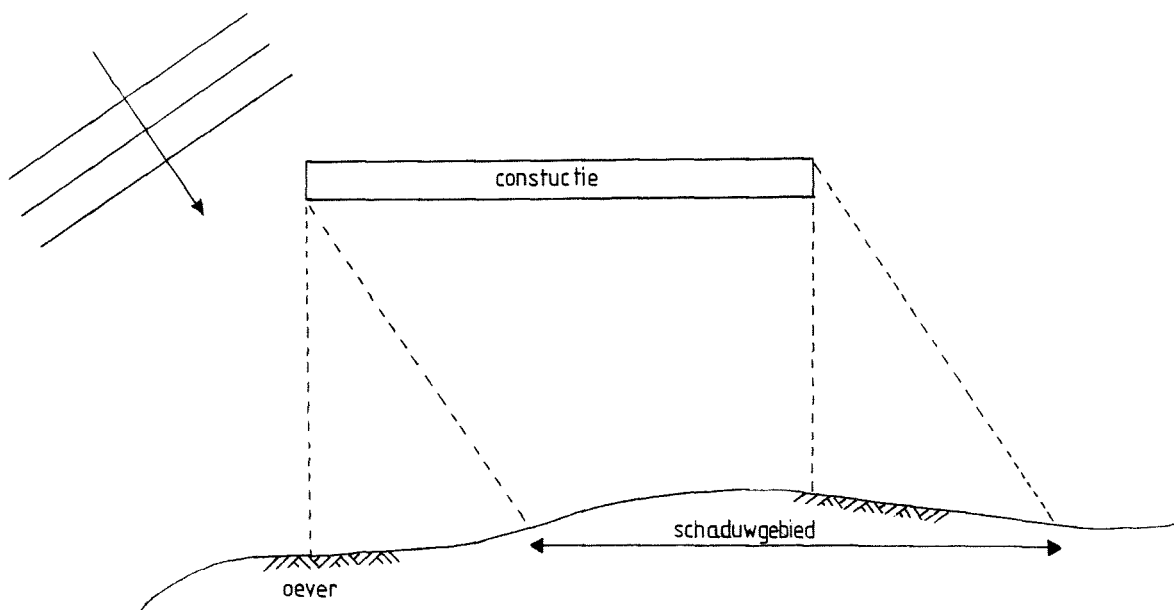


Fig. 3.6.1.2. Schaduwgebied achter golfdempende constructie.
(bovenaanzicht).

3.6.2 Houten drijfschotten

De uit metingen bepaalde C_T -waarden voor de schotten zijn, met de waarden volgens de theorieën van John en Wiegel, weergegeven in figuur 3.6.2.1. Daaruit blijkt dat reflectie tegen de voorkant van de constructie (theorie van Wiegel) een grote bijdrage levert aan de dempende werking. De theorie van John lijkt minder goed bruikbaar voor deze relatief diep stekende constructies (de theorie is afgeleid voor platen met een geringe diepgang).

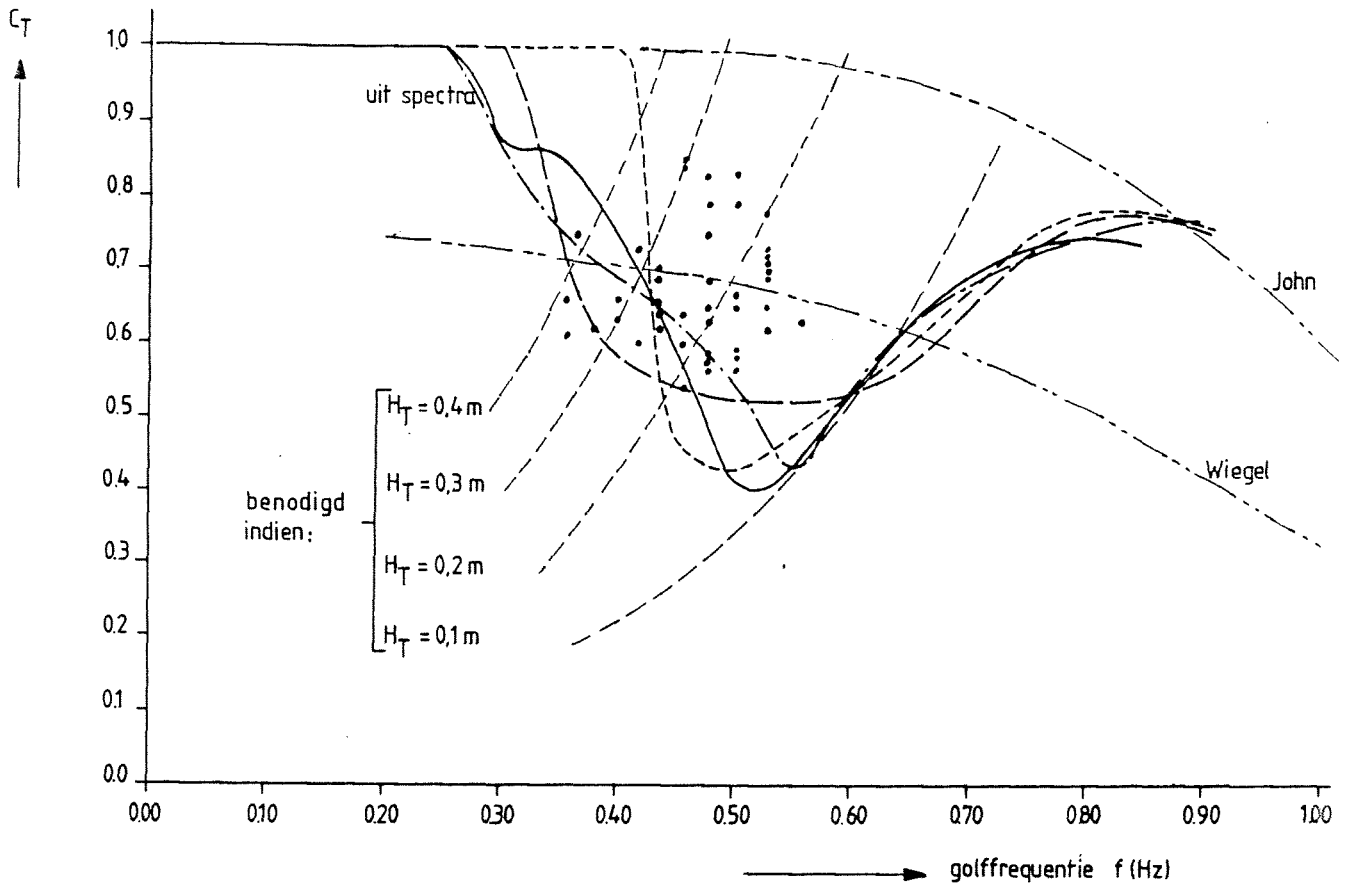


Fig. 3.6.2.1. C_T uit spectra en significante golfhoogten voor de houten drijfschotten, vergeleken met de theorieën van John en Wiegel; en de benodigde C_T als beperkingen worden gesteld aan de doorgelaten golfhoogte H_T .

In figuur 3.6.2.1 is ook weergegeven wat de benodigde demping is als de doorgelaten golven niet hoger mogen zijn dan $H_T = 0,1, 0,2, 0,3$ of $0,4$ m.

Werkwijze: bij iedere frequentie f is bepaald wat de bijbehorende inkomende golfhoogte ongeveer zal zijn (uit f wordt T bepaald, en uit T de golfhoogte H : $T_s = 1,2 \sqrt{10H_s}$, met $H_s = H_I$). Uit H_I en H_T kan C_T bepaald worden.

Er is gebleken (evenals bij de kunststofdrijvers) dat de golfdempende werking onvoldoende is om de oevers te beschermen tegen erosie. Daarvoor gelden dezelfde mogelijke oorzaken als bij de kunststof drijvers:

- meer golfgroei achter de constructie dan aangenomen
- lagere toelaatbare golven bij de oever dan aangenomen

- 3-dimensionale effecten, zoals beperking van schaduwgebied achter de constructie bij scheef invallende golven, of erosie door langs-transport langs de oever.

Als het langstransport verwaarloosbaar is, kan de oplossing worden gezocht in het groter maken van de afmetingen van de constructie, zowel in dwars- als in langsrichting (betere demping, resp. groter schaduwgebied), en/of het dichterbij de oever plaatsen van de constructie. Waarschijnlijk sorteert het dichterbij de oever plaatsen het meeste effect, gezien de nu forse afstand.

4. EVALUATIE VAN DE VERANKERING VAN DE CONSTRUCTIES

4.1 Inleiding

Naast de golfdempende werking van de drijvende constructies verdient de verandering de nodige aandacht. Dat is bij het gebruik van de constructies duidelijk naar voren gekomen: een aantal elementen van de constructie is losgeslagen door touwbreuk. Daarnaast is slijtage geconstateerd bij de bevestigingen van zowel de kunststof drijvers, als de houten drijfschotten.

In het navolgende wordt beschreven wat fout gegaan is, wat de oorzaak is (paragrafen 4.2 en 4.3), en hoe één en ander te voorkomen is.

4.2 Kunststof drijvers

De kunststof drijvers waren in eerste instantie met kettingen aan elkaar en aan palen bevestigd (figuur 4.2.1). Deze kettingen braken al bij relatief licht stormen (windkracht 6). Oorzaak van het breken: de combinatie van een relatief starre bevestiging en een gemakkelijk met de golven meebewegende constructie. In termen van een massa-veersysteem: een massa die door de golven gemakkelijk wordt versneld in combinatie met een stijve veer. De veer, in dit geval de ketting, was daar niet tegen bestand en brak.

De oplossing is gezocht in het toepassen van een bevestiging met flexibele kunststof kabels (figuur 4.2.2): aan één doorgaande kabel werden meerdere drijvers bevestigd. Om te voorkomen dat de drijvers tegen elkaar of tegen de palen aanstootten, werden afstandhouders van hard kunststof op de kabels bevestigd (figuur 2.4).

Ondanks de flexibele bevestiging zijn tijdens een storm twee secties drijvers losgeslagen. Bij nader onderzoek bleek dat een gevolg te zijn van kapot geschuurde kabels ter plaatse van de palen. Door de manier van bevestigen (de kabels werden een aantal malen om de palen geslagen, figuur 2.4) konden de kabels langs de palen schuren, en door het gemakkelijk bewegen van de drijvers op de golven gebeurde dat veelvuldig. Daarnaast vertoonden ook de afstandhouders door schuren en

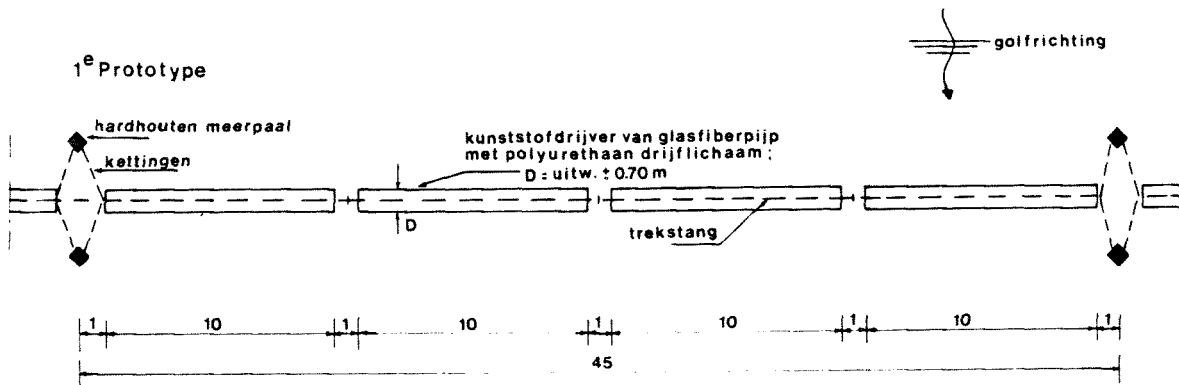


Fig. 4.2.1. Kunststofdrijvers bevestigd met kettingen (bovenaanzicht).

0 1 2 3 4 5 m

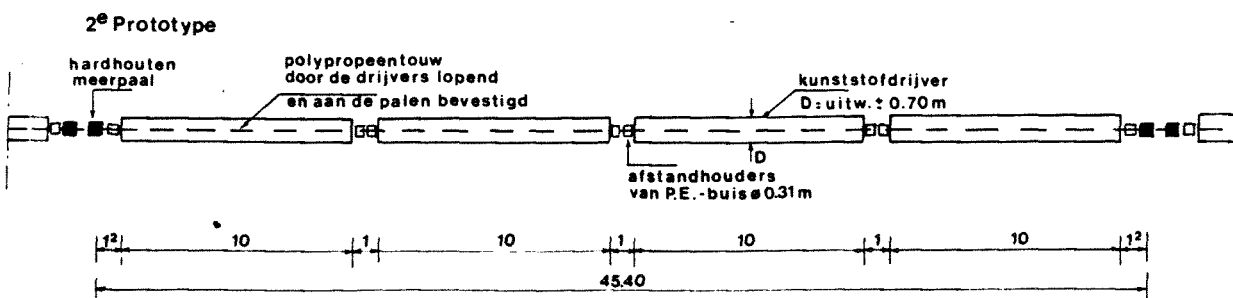


Fig. 4.2.2. Kunststofdrijvers bevestigd met kunststof touw (bovenaanzicht).

botsen tegen de drijvers en tegen elkaar veel slijtage. Om te voorkomen dat de overige secties ook los zouden slaan, en mogelijk schade zouden veroorzaken, zijn deze toen verwijderd.

4.3 Houten drijfschotten

Het eerste prototype met schotten, werd net als de kunststof drijvers, met kettingen aan palen bevestigd (figuur 4.2.1). Deze manier was ook hier te stijf om de belastingklappen op te kunnen vangen, met breuk als gevolg. Daarnaast ging bij een prototype de samenhang van een schot verloren door losdraaiende moeren. Door borging is dit later voorkomen.

Daarna werden de schotten met nylon kabels aan de palen bevestigd. Als afstandhouders tussen de schotten onderling en tussen de schotten en de palen werden oude autobanden gebruikt (figuur 2.3).

Door de grotere flexibiliteit van de constructie als geheel konden de optredende krachten goed worden opgenomen. Er kwamen echter wel andere problemen voor terug:

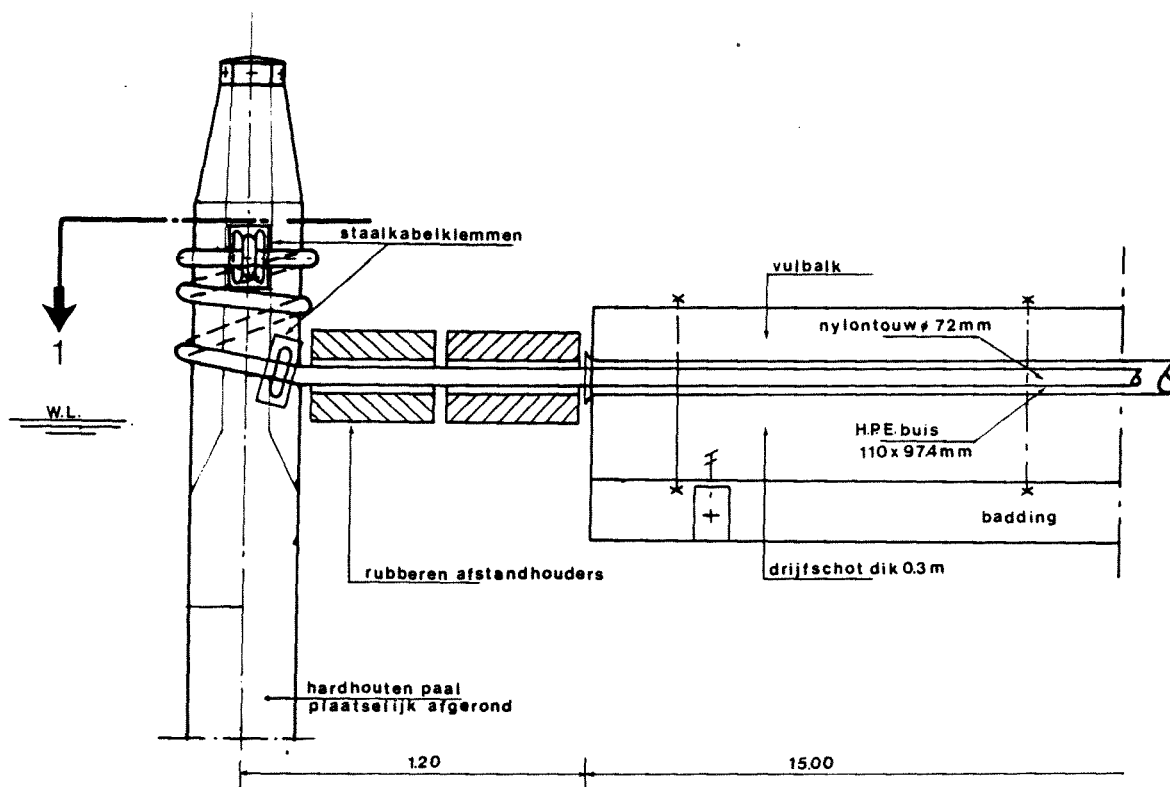
- Zowel door schuren van de scherpe kanten van de banden over de kabels, als door schuren van de kabels langs de palen, ontstond slijtage.
- Banden kwamen tussen kabel en paal klem te zitten, met extra slijtage als gevolg.

Om doorschuren te voorkomen zijn stukken brandweerslang om de kabels aangebracht, welke evenwel t.g.v. bewegingen opgestroopt werden langs het touw. De banden zijn later beter aan elkaar bevestigd.

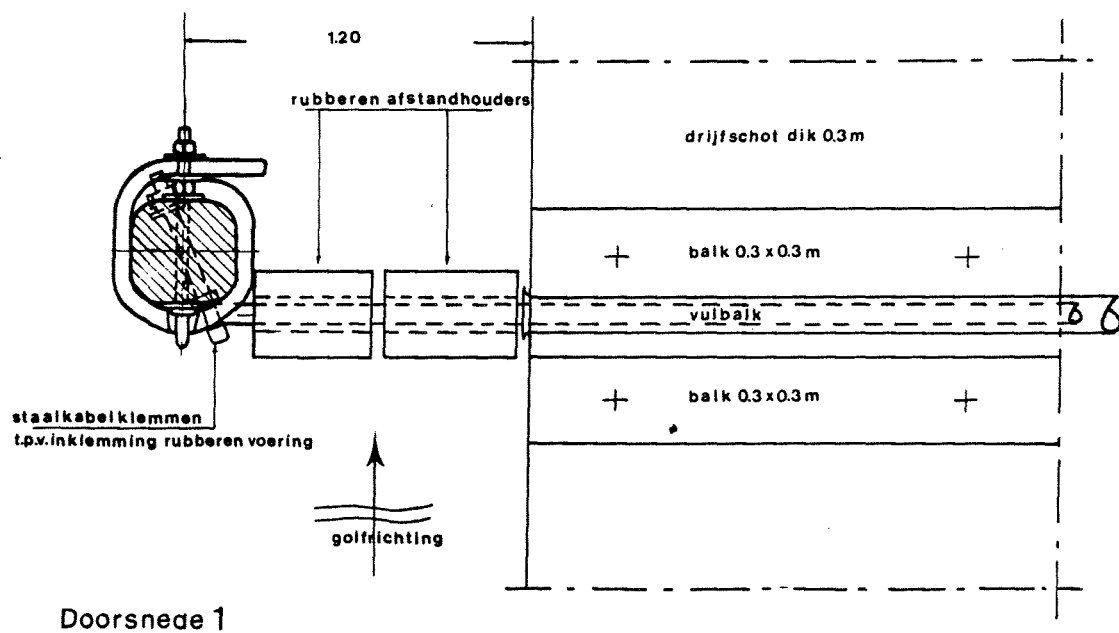
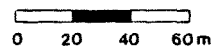
Naast de bevestigingsproblemen werd geconstateerd dat in de loop der tijd de schotten dieper in het water zijn gaan liggen. Dat is veroorzaakt door mosselaangroei aan de onderkant van de schotten en opzuiging van water door het hout.

4.4 Aan te brengen verbeteringen

In de vorige paragrafen is naar voren gekomen dat falen (= niet blijven liggen) van de constructie vooral een gevolg was van een verkeerde manier van bevestigen: òf de krachten werden te groot, òf er was teveel slijtage. Een oplossing voor de te grote krachten moet gezocht



Vooraanzicht



Doorsnede 1

Fig. 4.4.4.1. Mogelijke kabelbevestiging.

worden in een flexibeler bevestiging (zoals later ook is toegepast bij de drijvers en de schotten). Piekbelastingen worden dan voorkomen.

Slijtage moet ook worden voorkomen, door:

- a - langs elkaar schuren van constructieonderdelen tegen te gaan
- b - slijtvaste(re) constructie onderdelen te gebruiken.

ad a

Slijtage werd onder andere veroorzaakt door de scherpe kanten van de autobanden. Beter is het om afstandhouders te gebruiken zonder scherpe kanten. Vanwege de benodigde flexibiliteit verdient het aanbeveling om hiervoor bijv. rubber te gebruiken.

De manier van bevestigen van de kabels aan de palen verdient ook enige aanpassing. Door een klembeugel aan te brengen daar waar de kabel loskomt van de paal kan de kabel niet meer langs de paal schuren (figuur 4.4.1). De beugel mag echter geen scherpe kanten hebben omdat anders het probleemgebied alleen maar verplaatst wordt. Een oplossing daarvoor is het aanbrengen van een beugel of klem met rubberen voering.

ad b

Bij de bestaande schotten constructie is gebruik gemaakt van stukken brandweerslang die over de kabels zijn geschoven, om slijtage te voorkomen. Dit is een goede, en relatief goedkope, oplossing.

Het probleem van de diepere inzinking van de constructies door opzuigen van water en mosselaangroei is slechts gedeeltelijk te verhelpen. Het opzuigen van water kan voorkomen worden door een goede preparatie van het hout. Mosselaangroei is vermoedelijk niet tegen te gaan. De remacties daartegen zijn: van tijd tot tijd schoonmaken (duur) of de constructies voldoende drijfvermogen geven, zodat ze niet zullen zinken, ondanks de grotere massa.

5. INVLOED VAN DE CONSTRUCTIES OP DE BODEM

Golfdempende constructies verstoren de golfbeweging, bijv. door terugkaatsing of door omzetting in turbulentie. Terugkaatsing geeft staande golfverschijnselen, waardoor hogere golven en hogere snelheden van de waterdeeltjes ontstaan, ook bij de bodem. Hierdoor kan uitschuring van de bodem worden veroorzaakt. Turbulentie bij een constructie kan ook uitschuring veroorzaken, evenals stroming onder de constructie door.

Bij de houten schotten zijn metingen gedaan naar de bodemligging voor, onder en achter de constructie. Uit die metingen blijkt dat zich onder de constructie een ondiepe kuil bevindt, en een tiental meters er achter een kleine verhoging van de bodem (figuur 5.1). Dat duidt erop dat onder de constructie inderdaad enige erosie plaatsvindt, vermoedelijk door turbulentie gecombineerd met enige stroming. In de luwte achter de constructie zijn de golfcondities zodanig dat wat zand kan neerslaan.

De schotten liggen meestal niet in de as van de constructie, maar in een zeeg. De erosiekuil en de bodemverhoging volgen deze zeeg.

Bij waarnemingen uit de lucht is deze invloed van de constructie goed te zien aan de mosselvelden die zich direkt achter de bodemverhoging bevinden (op 10-15 m bij de constructie vandaan). Die mosselvelden volgen de zeeg van de constructie duidelijk waarneembaar. De mossels groeien in grote getale aan de onderkant van de vlotten. Als ze daar op een gegeven moment afvallen, komen ze achter de bodemverhoging terecht (mossels hebben een laag soortelijk gewicht).

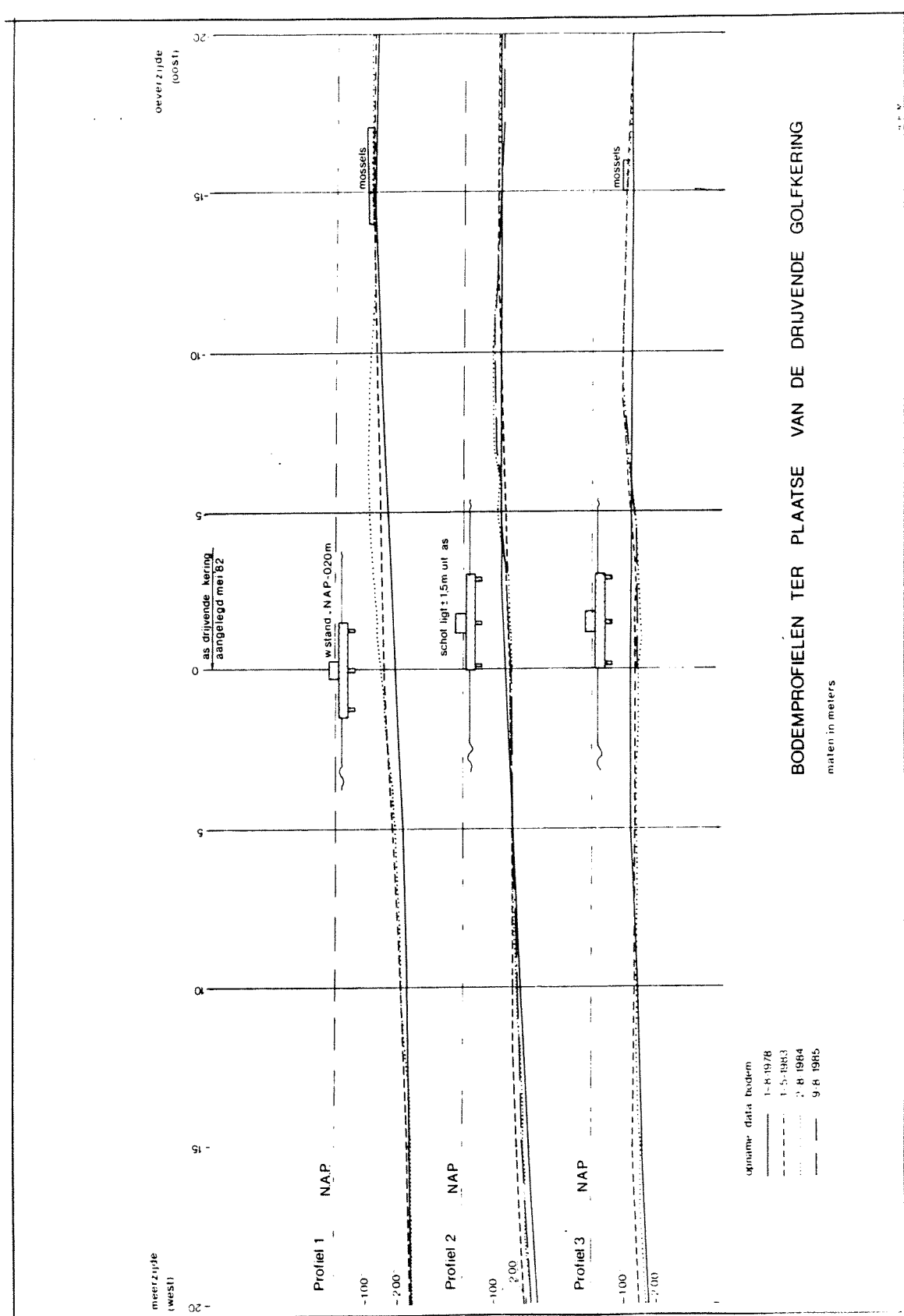


Fig. 5.1. Bodemprofielen ter plaatse van de drijvende golfkering (situering profielen: figuur 3.2.1).

6. CONCLUSIES

De drijvende golfdempende constructies in het Grevelingenmeer zijn geëvalueerd op een drietal aspecten:

- a - golfdempende werking
- b - constructie/verankering
- c - lokale erosie

ad a

Zowel de kunststof drijvers, als de houten drijfschotten hebben een geringe golfdempende werking. Dit kon op grond van theoretische overwegingen verwacht worden, en is door metingen bevestigd. Een betere werking is te verkrijgen door de afmetingen van de constructies te vergroten (grotere breedte/massa, c.q. groter massatraagheidsmoment).

ad b

Gebleken is, dat de constructies in eerste instantie onvoldoende bestand waren tegen de door de golven veroorzaakte krachten. Dit kwam door onvoldoende flexibiliteit in de constructies, m.n. in de bevestiging van de drijvers en de schotten aan de palen. In latere constructies is deze flexibiliteit wel ingebouwd. Daarna werden vooral problemen geconstateerd bij langs elkaar schurende constructie-onderdelen. Vaak had dit slijtage tot gevolg. Na aanbrengen van stukken brandweerslang als kabelomhulling is de slijtage sterk verminderd.

De bevestiging/verankering van de drijvende constructies is dus een zwakke schakel in het geheel. Ook bij toekomstig toe te passen constructies moet er daarom veel aandacht aan worden besteed.

ad c

Bij de drijvende constructies blijkt lokaal enige erosie van de bodem op te treden. Dit wordt vermoedelijk veroorzaakt door extra turbulentie t.g.v. de golfdemping. Bij beter dempende constructies is mogelijk de invloed op de bodem groter. Dat betekent dat eventueel de bodem beschermd dient te worden tegen teveel erosie, met alle financiële gevolgen van dien.

Naast bovenstaande conclusies kan worden opgemerkt, dat als dergelijke constructies worden toegepast om oevers tegen erosie door golfaanval te

beschermen verder onderzoek moet worden gedaan naar een aantal invloeden:

- De afstand tussen de constructie en de oever. Naarmate de afstand groter wordt, hebben de golven meer kans om weer aan te groeien.
- De mate van erosie als functie van golfhoogte en golflengte. Daarmee kan de benodigde golfdemping worden bepaald.
- De invloed van langstransport langs de oever (o.i.v. golven) op de erosie.

LIJST VAN SYMBOLEN

symbool	definitie	dimensie	eenheid
A	amplitude	L	m
B	breedte	L	m
C_T	transmissiecoëfficiënt ($= H_T/H_I$)	-	-
C_R	reflectiecoëfficiënt ($= H_R/H_I$)	-	-
c	golfvoortplantingssnelheid	LT^{-1}	m/s
c_d	weerstandscóëfficiënt	-	-
c_g	golfgroepvoortplantingssnelheid	LT^{-1}	m/s
D	diepgang	L	m
D_1	diameter, hoogte van de constructie	L	m
D_2	vrijboord	L	m
D_1	$= D + D_2$	-	-
E	golfenergie (per eenheid van opp.)	MT^{-2}	N/m
E_D	gedissipeerde energie (per eenheid van opp.)	MT^{-2}	N/m
E_R	gereflecteerde energie (per eenheid van opp.)	MT^{-2}	N/m
E_T	getransmitteerde energie (per eenheid van opp.)	MT^{-2}	N/m
F	kracht (per eenheid van lengte)	MT^{-2}	N/m
F_g	gemiddelde kracht	MT^{-2}	N/m
F_p	piekkracht	MT^{-2}	N/m
f	golffrequentie ($= 1/T$)	T^{-1}	1/s
G	gewichtszwaartepunt	-	-
H	golfhoogte	L	m
H_I	inkomende golfhoogte	L	m
H_T	getransmitteerde golfhoogte	L	m
H_R	gereflecteerde golfhoogte	L	m
h	waterdiepte	L	m
I	massatraagheidsmoment (per eenheid van lengte)	ML	Ns^2
j	traagheidsstraal		
k_v	veerconstante	MT^{-2}	N/m
k	golfgetal ($= 2\pi/L$)	L^{-1}	1/m
l	constructielengte	L	m
L	golflengte	L	m
L	plaatselijke lengte	L	m
L_o	diep water golflengte	L	m
m	massa (per eenheid van lengte)	ML^{-1}	kg/m
P	porositeitscoëfficiënt	-	-

LIJST VAN SYMBOLEN (vervolg)

symbool	definitie	dimensie	eenheid
P	vermogen	ML^2T^{-3}	W
P_I	inkomend vermogen	ML^2T^{-3}	W
P_T	getransmitteerd vermogen	ML^2T^{-3}	W
P_R	gereflecteerd vermogen	ML^2T^{-3}	W
p	druk	$ML^{-1}T^{-2}$	N/m ²
S	energiedichtheidsspectrum	L^2T	m ² s
T	golfperiode	T	s
T_k	eigen trillingsperiode	T	s
T_s	significante golfperiode	T	s
σ	cirkelfrequentie ($= 2\pi/T$)	T^{-1}	1/s
θ	golfinvalshoek (hoek t.o.v. loodrechte inval)		

Bijlage I

Overzicht van afgeleide golfparameters

Golfmeetpaal GM I (station 2635)

Randvoorwaarden:

- windrichtingen tussen 200° en 340°
- windsnelheden ≥ 7 m/s
- aantal foute waarnemingen per reeks niet groter dan 1

Registratie

- voor 22-11-'84
 - * ponsband
 - * wind ter plaatse
- na 22-11-'84
 - * VCZ-systeem
 - * wind van meetpaal OS-4
- na 24-11-'84 tijdelijk geen waarnemingen t.g.v. buiten werking zijn van de apparatuur en een vorstperiode

Afgeleide parameters

- 2 - BETR - Betrouwbaarheidsparameters
- 13 - AF - Aantal fouten (aantal afgekeurde waarden)
- 9 - WST - Waterstand (in cm)
- 10 - WR - Windrichting
- 11 - WS - Windsnelheid (m/s)
- 47 - GGH - Gemiddelde golfhoogte (in 0,1 cm)
- 54 - GGT - Gemiddelde golfperiode (in 0,1 s)
- 49 - HI/3 - Significante golfhoogte (in 0,1 cm)
- 57 - TH1/3 - Significante golfperiode (in 0,1 s)
- 65 - TE1 - Energie van golven met perioden 0-5 s (in 0,1 cm²)
- 66 - TE2 - Energie van golven met perioden 5-10 s (in 0,1 cm²)
- 67 - TE3 - Energie van golven met perioden > 10 s (in 0,1 cm²)

STATION : 02635

DATUM	TIJD GMT	BETR	AF	WST CM	WR	WS M/S	GGH 0.1CM	GGT 0.1S	H1/3 0.1CM	H1/3 0.1S	TE1 0.1CM2	TE2 0.1CM2	H.3 0.1CM2
831124	2000	1	0	-17	203	8	112	24	152	23	136	9	6
831125	1400	1	0	-19	225	9	136	20	188	19	230	8	5
831125	2000	1	0	-20	215	8	158	20	220	20	331	10	5
831125	2300	1	0	-20	230	13	223	19	326	20	748	11	4
831126	0200	1	0	-23	240	16	283	20	435	21	1251	9	7
831126	0500	1	0	-22	240	18	406	23	603	24	2449	13	10
831126	0800	1	0	-22	255	17	329	21	491	21	1663	11	7
831126	1100	1	0	-19	245	14	235	19	354	20	898	12	5
831126	1400	1	0	-19	240	13	191	19	281	19	542	11	6
831126	1700	1	0	-17	230	9	133	21	189	20	226	9	6
831127	0200	1	0	-20	240	15	390	23	593	25	2362	17	15
831127	0500	1	0	-25	245	24	440	24	668	26	2988	21	15
831127	0800	1	0	-17	255	20	343	22	523	24	1932	19	8
831127	1100	1	0	-15	285	14	302	22	459	24	1397	9	6
831127	1400	1	0	-14	310	14	296	23	442	24	1323	10	6
831127	1700	1	0	-14	310	11	226	20	323	21	727	10	5
831127	2000	1	0	-13	315	9	187	19	275	20	526	11	7
831127	2300	1	0	-13	305	7	168	19	237	19	400	10	5
831128	0900	1	0	-12	305	9	173	20	244	20	410	9	5
831209	1200	1	0	-22	200	13	179	21	260	21	420	9	5
831209	1300	1	0	-23	200	13	154	20	212	21	301	8	5
831210	1900	1	0	-21	320	7	156	20	220	19	334	8	5
831211	0100	1	0	-23	315	8	188	20	278	20	525	10	5
831227	1200	1	0	-10	235	13	193	19	282	18	570	9	6
831227	1400	1	0	-10	240	13	222	19	325	19	736	12	7
831227	1600	1	0	-14	240	14	237	19	352	20	859	11	7
831227	1800	1	0	-14	240	14	257	20	389	20	1012	13	8
831227	2000	1	0	-14	245	10	242	19	364	20	922	14	7
831227	2200	1	0		245	14	237	19	353	20	892	10	6
831228	0000	1	0	-14	240	14	216	19	3	20	715	10	6
831228	0200	1	0	-15	240	13	205	19	302	20	647	11	7
831228	0400	1	0	-15	240	13	227	20	337	20	780	12	6
831228	0600	1	0	-15	240	14	226	19	340	19	824	10	5
831228	0800	1	0	-15	240	13	167	19	235	19	385	11	6
831228	1000	1	0	-15	240	11	196	19	289	19	590	11	6
831228	1200	1	0	-15	245	12	209	19	306	19	653	9	5
831228	1400	1	0	-16	240	11	193	19	279	19	529	12	7
831228	1600	1	0	-17	255	10	162	20	230	19	357	10	6
840104	2000	1	0	-7	330	10	180	19	261	20	472	10	4
840104	2300	1	0	-9	300	10	137	21	193	20	225	9	5
840105	0200	1	0	-9	315	8	171	19	245	20	416	10	5
840105	0500	1	0	-8	290	9	131	21	187	20	202	10	4
840105	2000	1	0	-17	230	12	140	20	198	20	251	9	5
840113	0200	1	0	-11	215	11	232	20	347	22	786	10	6
840116	2200	1	0	-12	240	18	211	19	306	19	674	10	5
840117	0100	1	0	-11	250	16	280	20	416	22	1265	12	6
840117	0400	1	0	-12	260	14	326	21	494	22	1698	13	7
840117	1600	1	0	-15	280	17	309	22	458	22	1474	12	7
840117	2100	1	0	-16	280	15	306	22	456	24	1391	10	7
840117	2200	1	0	-16	285	16	344	23	509	25	1762	13	7

STATION : 02635

STATION TIME GMT	BEIR	AF	WSI CM	WR	WS M/S	GGH 0.1CM	GGT 0.1S	H1/3 0.1CM	TH1/3 0.1S	TE1 0.1CM2	TE2 0.1CM2	TE3 0.1CM2
040117 2300	1	0	-16	280	17	319	23	488	25	1554	12	6
040118 0000	1	0	-15	290	16	274	21	411	22	1152	10	6
040118 0100	1	0	-15	290	16	308	22	462	24	1446	10	6
040118 0200	1	0	-15	290	16	287	21	435	23	1312	13	8
040118 0300	1	0	-14	285	15	250	20	377	21	991	11	5
040118 0400	1	0	-14	285	15	264	21	396	22	1090	10	5
040118 0500	1	0	-15	285	15	247	21	367	22	915	10	5
040118 0600	1	0	-15	290	14	242	21	364	22	903	10	4
040118 0700	1	0	-15	300	15	223	20	327	21	776	9	6
040118 0800	1	0	-16	295	13	246	20	367	21	923	10	5
040118 0900	1	0	-17	290	12	204	20	292	20	609	10	4
040125 0200	1	0	-17	335	9	134	20	182	20	229	8	4
040202 1100	1	0	-21	255	10	160	19	223	19	346	10	5
040207 0100	1	0	-9	285	14	247	20	364	21	963	9	5
040207 0300	1	0	-8	315	13	322	22	493	24	1539	10	5
040207 1900	1	0	-8	300	12	267	21	396	23	1076	10	6
040207 2100	1	0	-7	295	14	252	20	369	22	982	10	6
040207 2300	1	0	-7	280	11	214	19	311	20	716	10	6
040208 0100	1	0	-8	255	10	186	18	270	19	524	9	6
040208 0300	1	0	-7	240	11	176	19	253	18	431	9	5
040302 1800	1	0	-18	295	16	333	23	505	25	1676	12	8
040302 2100	1	0	-18	285	14	309	20	472	21	1560	12	6
040303 0000	1	0	-16	295	14	218	20	320	21	723	10	5
040622 1200	1	0	-21	237	15	245	20	370	20	926	11	7
040622 1500	1	0	-21	235	15	225	19	333	20	793	13	7
040622 1800	1	0	-21	237	16	271	20	407	21	1184	11	6
040622 2100	1	0	-20	246	12	180	19	259	19	473	9	6
040623 0000	1	0	-21	295	13	254	21	380	21	978	12	6
040623 0300	1	0	-19	319	12	226	21	331	22	732	9	6
040623 0600	1	0	-19	303	11	218	20	319	21	694	11	5
040623 0900	1	0	-20	296	9	181	19	261	20	486	10	5
040623 1200	1	0	-20	280	7	147	19	204	18	284	9	4
040623 2100	1	0	-19	265	7	123	21	155	20	159	9	4
040624 0200	1	0	-20	323	9	200	20	292	20	574	8	5
040624 1200	1	0	-20	315	10	191	19	281	20	547	9	5
040624 1500	1	0	-19	317	7	162	20	228	20	349	10	5
040624 2100	1	0	-19	258	9	130	20	168	19	193	8	4
040625 0300	1	0	-18	271	9	167	18	235	18	405	9	6
040625 0600	1	0	-19	259	12	197	19	291	19	579	10	6
040625 0900	1	0	-19	264	12	230	20	335	20	814	10	6
040625 1200	1	0	-19	288	10	171	20	242	20	402	9	5
040710 1100	1	0	-15	310	18	314	22	471	25	1544	9	8
040710 1200	1	0	-14	310	18	354	24	527	26	1762	14	7
040710 1300	1	0	-14	310	14	309	23	465	24	1480	10	6
040710 1400	1	0	-14	310	13	318	23	475	24	1493	10	7
040710 1500	1	0	-13	315	16	298	22	443	23	1328	12	6
040710 1600	1	0	-13	315	15	271	22	399	23	1102	9	7
040710 1700	1	0	-13	315	15	264	20	351	21	820	8	5
040710 1800	1	0	-13	320	13	192	20	279	20	534	11	5
040710 1900	1	0	-13	315	12	152	19	208	19	315	9	5

STATION : 02635

DATUM	TIJD GMT	BETR	AF	WST CM	WR	WS M/S	GGH 0.1CM	GGH 0.15	HH-3 0.1CM	HH-3 0.15	HH 0.1CM2	HH 0.1CM2	HH 0.1CM2
840910	2000	1	0	-13	315	8	127	21	166	21	181	7	4
840910	2100	1	0	-13	315	7	157	20	219	19	340	8	5
840911	0100	1	0	-13	305	8	183	19	266	19	477	9	5
840911	0200	1	0	-13	305	10	169	19	237	19	415	8	5
840911	0300	1	0	-13	305	11	206	20	298	20	640	11	5
840911	0400	1	0	-13	310	10	187	19	271	20	516	8	5
840911	0500	1	0	-14	280	11	180	19	258	19	479	9	7
840911	0600	1	0	-14	270	10	193	19	278	19	575	10	5
840911	0700	1	0	-14	270	10	195	19	282	19	589	11	5
840911	0800	1	0	-14	275	11	216	19	312	19	714	9	6
840911	0900	1	0	-15	275	11	204	19	297	20	641	7	5
840911	1000	1	0	-15	260	12	228	19	340	19	818	10	5
840911	1100	1	0	-15	255	12	230	19	342	19	867	11	7
840911	1200	1	0	-15	255	12	211	18	308	19	696	9	5
840911	1300	1	0	-15	255	11	201	20	292	20	610	11	5
840911	1400	1	0	-15	270	12	194	19	283	19	578	10	5
840911	1500	1	0	-15	255	11	206	19	298	19	651	10	6
840911	1600	1	0	-15	265	11	201	19	288	20	609	10	5
841122	1800	1	0	-27	237	20	300	23	440	23	1450	0	0
841122	1830	1	0	-30	250	13	260	24	400	23	1080	0	0
841123	0330	1	0	-26	268	16	300	23	440	21	1400	0	0
841123	0400	1	0	-28	259	16	300	24	440	23	1420	0	0
841123	0430	1	0	-27	264	19	360	26	530	27	1990	10	0
841123	0500	1	0	-25	265	17	360	25	510	26	1960	0	0
841123	0530	1	0	-27	261	17	350	26	510	27	1880	0	0
841123	0600	1	0	-26	254	16	330	25	480	25	1640	0	0
841123	0630	1	0	-27	254	17	300	24	430	24	1350	0	0
841123	0700	1	0	-27	254	15	250	22	360	22	930	0	0
841123	0730	1	0	-25	247	14	210	21	310	20	660	0	0
841123	1000	1	0	-25	229	17	200	21	290	20	600	0	0
841123	1200	1	0	-25	221	14	210	22	310	21	640	0	0
841123	1300	1	0	-25	220	15	200	22	290	21	510	0	0
841123	1830	1	0	-24	203	16	190	25	280	24	480	0	0
841123	2000	1	0	-25	209	16	220	23	310	23	640	0	0
841123	2030	1	0	-23	233	22	350	25	510	25	1720	0	0
841123	2100	1	0	-27	228	21	340	25	510	26	1910	0	0
841123	2130	1	0	-26	231	22	360	25	520	26	2020	0	0
841123	2200	1	0	-25	239	22	350	25	510	26	1860	0	0
841123	2230	1	0	-25	236	24	360	25	530	26	1920	0	0
841123	2300	1	0	-25	238	23	370	25	550	26	2210	0	0
841123	2330	1	0	-26	242	22	420	26	600	27	2830	0	0
841124	0000	1	0	-26	278	17	350	26	500	26	1890	0	0
841124	0030	1	0	-25	286	18	390	28	540	29	2130	0	0
841124	0100	1	0	-27	276	19	330	28	470	29	1610	0	0
841124	0130	1	0	-24	265	19	330	25	480	25	1650	0	0
841124	0200	1	0	-24	257	19	370	26	510	26	2020	0	0
841124	0230	1	0	-25	258	17	350	26	500	26	1890	0	0
841124	0300	1	0	-25	254	18	330	24	480	25	1670	0	0
841124	0330	1	0	-25	254	17	320	25	470	26	1590	0	0
841124	0400	1	0	-25	254	16	270	23	390	22	1140	0	0

TABLE 1 : 02635

ITEM	TLUD	BETR	AF	WST	WR	WS	GGH	GGT	HL/3	HL/3	IE1	IE2	IE3
	GAT			CM		M/S	Ø.1CM	Ø.1S	Ø.1CM	Ø.1S	Ø.1CM2	Ø.1CM2	Ø.1CM2
841124 0430		1	0	-24	256	17	260	22	380	21	1050	0	0
841124 0500		1	0	-25	255	16	250	22	370	21	960	0	0
841124 0530		1	0	-25	253	16	270	23	390	22	1140	0	0
841124 0600		1	2	-25	249	17	250	22	360	21	950	0	0
841124 0630		1	0	-25	249	15	240	23	340	22	850	0	0
850327 1500		1	0	-18	338	9	200	22	290	21	580	0	0
850329 1130		1	0	-18	234	13	220	21	330	20	680	0	0
850401 2000		1	0	-14	221	10	160	23	230	21	300	0	0
850401 2230		1	0	-14	226	15	200	22	290	21	550	0	0
850401 2300		1	0	-14	227	18	200	22	290	21	550	0	0
850401 2330		1	0	-15	231	17	260	23	380	22	1000	0	0
850402 0100		1	0	-14	231	16	240	22	350	21	830	0	0
850402 0130		1	0	-15	232	18	240	23	360	22	900	0	0
850402 0200		1	0	-14	236	17	270	23	400	22	1130	0	0
850402 0230		1	0	-14	236	16	270	23	400	21	1200	0	0
850402 0300		1	0	-14	238	15	260	22	390	21	1100	0	0
850402 0330		1	0	-14	238	15	260	22	390	20	1090	0	0
850402 0400		1	0	-14	239	16	230	22	330	21	750	0	0
850402 0630		1	0	-14	243	13	260	22	390	21	1100	0	0
850402 2230		1	0	-12	209	13	140	23	190	22	200	0	0
850407 2300		1	0	-12	212	12	170	23	250	22	380	0	0
850407 2330		1	0	-12	208	11	140	24	200	22	230	0	0
850408 0230		1	0	-12	199	12	140	24	200	22	220	0	0
850408 0400		1	0	-12	204	15	160	24	220	23	250	0	0
850408 0430		1	1	-12	206	14	170	23	240	22	320	0	0
850408 0500		1	0	-12	206	14	190	23	270	23	480	0	0
850408 0530		1	0	-12	211	13	180	23	260	22	400	0	0
850408 0600		1	0	-12	211	13	170	23	240	22	320	0	0
850408 0700		1	0	-12	210	13	170	23	240	22	370	0	0
850408 0800		1	0	-12	218	14	170	23	240	22	350	0	0
850408 0830		1	0	-12	221	14	200	24	290	21	550	0	0
850408 0900		1	0	-12	225	15	220	23	320	21	700	0	0
850408 0930		1	0	-12	229	14	220	23	330	21	670	0	0
850408 1000		1	0	-12	231	17	220	22	320	21	670	0	0
850408 1030		1	0	-12	228	18	270	24	400	22	1190	0	0
850408 1100		1	0	-12	234	16	260	23	390	22	1040	0	0
850408 1130		1	0	-12	235	15	270	22	400	21	1050	0	0
850408 1200		1	0	-12	234	15	260	22	370	21	1020	0	0
850408 1230		1	0	-12	237	15	260	23	380	22	1000	0	0
850408 1300		1	0	-12	236	16	260	22	390	21	1010	0	0
850408 1330		1	0	-12	235	17	270	23	410	22	1180	0	0
850408 1400		1	0	-12	238	15	250	23	370	21	960	0	0
850408 1430		1	0	-12	238	15	250	23	410	22	1230	0	0
850408 1500		1	0	-12	238	15	290	23	420	22	1260	0	0
850408 1530		1	0	-12	240	14	300	23	440	21	1340	0	0
850408 1600		1	0	-12	242	14	280	23	420	21	1230	0	0
850408 1630		1	0	-12	239	14	270	23	410	21	1140	0	0
850408 1700		1	0	-12	237	13	250	23	370	21	970	0	0
850411 2130		1	0	-12	265	13	240	21	320	20	770	0	0
850411 2230		1	0	-10	268	12	210	21	310	20	630	0	0

STATION : 02635

DATUM	TIJD GMT	BETR	AF	WST CM	WR	WS N/S	GGH 0.1CM	GGF 0.1S	H1/3 0.1CM	TH1/3 0.1S	TE1 0.1CM2	TE2 0.1CM2	TE3 0.1CM2
850411	2300	1	0	-10	264	15	200	22	290	21	530	0	0
850411	2330	1	0	-11	266	16	260	23	370	22	1020	0	0
850412	0000	1	0	-11	272	17	300	24	430	22	1340	0	0
850412	0030	1	0	-12	272	17	310	24	450	24	1330	0	0
850412	0100	1	0	-11	278	17	360	27	520	27	1970	0	0

AANTAL REEKSEN : 205

Bijlage II

Overzicht van afgeleide golfparameters

Golfmeetpaal GM II (station 2636)

Randvoorwaarden:

- windrichtingen tussen 200° en 340°
- windsnelheden ≥ 7 m/s
- aantal foute waarnemingen per reeks niet groter dan 1

Registratie

- voor 22-11-'84
 - * ponsband
- wind per plaatse
- na 22-11-'84
 - * VCZ-systeem
 - * wind van meetpaal OS-4
- na 24-11-'84 tijdelijk geen waarnemingen t.g.v. buiten werking zijn van de apparatuur en een vorstperiode

STATION : 02636

DATUM TIJD GMT	BETR	AF	WST CM	WR	WS M/S	GGH Ø.10M	GGT Ø.15	H1/3 Ø.10M	H1/3 Ø.15	TE1 Ø.10M2	TE2 Ø.10M2	TE3 Ø.10M2
831124 2000	1	0	-17	203	8	114	23	147	22	136	8	9
831125 1400	1	0	-19	225	9	124	24	183	23	220	16	11
831125 2000	1	0	-20	215	8	124	22	170	23	175	8	7
831125 2300	1	0	-20	230	13	134	21	191	21	211	11	5
831126 0200	1	0	-23	240	16	150	21	211	22	291	11	7
831126 0500	1	0	-22	240	18	189	21	277	22	452	19	16
831126 0800	1	0	-22	255	17	217	22	322	24	675	14	8
831126 1100	1	0	-19	245	14	192	22	281	23	520	12	10
831126 1400	1	0	-19	240	13	146	23	205	23	275	10	5
831126 1700	1	0	-17	230	9	115	24	157	23	152	10	7
831127 0200	1	0	-20	240	15	125	22	162	22	168	8	5
831127 0500	1	0	-25	245	24	325	23	474	27	1503	33	22
831127 0800	1	0	-17	255	20	291	22	422	25	1249	23	15
831127 1100	1	0	-15	285	14	266	24	390	27	949	17	12
831127 1400	1	0	-14	310	14	201	24	290	25	563	12	8
831127 1700	1	0	-14	310	11	223	24	322	25	684	11	7
831127 2000	1	0	-13	315	9	138	23	198	24	246	12	6
831127 2300	1	0	-13	305	7	130	24	191	24	207	11	6
831128 0900	1	0	-12	305	9	112	25	163	24	174	8	5
831209 1200	1	2	-22	200	13	148	21	208	21	283	11	6
831209 1300	1	0	-23	200	13	140	21	200	21	255	13	7
831210 1900	1	0	-21	320	7	116	24	141	24	157	10	6
831211 0100	1	0	-23	315	8	120	23	149	24	169	8	6
831227 1200	1	1	-10	235	13	145	21	207	22	280	15	8
831227 1400	1	1	-10	240	13	163	21	229	21	346	22	12
831227 1600	1	0	-14	240	14	161	21	227	22	331	14	9
831227 1800	1	0	-14	240	14	185	21	267	22	439	26	25
831227 2000	1	0	-14	245	10	190	21	281	22	498	35	26
831227 2200	1	0	-14	245	14	154	22	214	22	310	18	15
831228 0000	1	0	-14	240	14	142	22	205	22	273	14	10
831228 0200	1	0	-15	240	13	143	22	203	22	262	10	7
831228 0400	1	0	-15	240	13	156	21	220	21	327	12	8
831228 0600	1	0	-15	240	14	173	21	241	23	379	24	24
831228 0800	1	0	-15	240	13	128	23	174	24	213	17	14
831228 1000	1	0	-15	240	11	132	23	189	24	223	13	9
831228 1200	1	0	-15	245	12	129	23	180	23	202	14	5
831228 1400	1	0	-16	240	11	129	23	170	23	199	16	12
831228 1600	1	0	-17	255	10	120	24	159	24	172	14	9
840104 2000	1	0	-7	330	10	117	23	156	24	177	9	4
840104 2300	1	0	-9	300	10	127	25	171	27	170	19	13
840105 0200	1	0	-9	315	8	116	23	141	23	161	9	5
840105 0500	1	0	-8	290	9	116	24	148	24	141	14	9
840105 2000	1	0	-17	230	12	136	24	192	26	202	20	16
840113 0200	1	0	-11	215	11	346	18	545	23	1795	455	273
840116 2200	1	0	-12	240	18	185	21	264	22	474	11	6
840117 0100	1	0	-11	250	16	139	22	195	22	238	11	6
840117 0400	1	0	-12	260	14	194	23	280	25	507	12	6
840117 1600	1	0	-15	280	17	207	24	293	25	589	13	9
840117 2100	1	0	-16	280	15	201	23	280	24	532	14	8
840117 2200	1	0	-16	285	16	219	24	314	26	668	13	8

STATION : 02636

DATUM	FLJD GMT	BETR	AF	WST CM	WR	WS M/S	GGH 0.1CM	GGT 0.1S	H1/3 0.1CM	TH1/3 0.1S	TE1 0.1CM2	TE2 0.1CM2	TE3 0.1CM2
840117	2300	1	0	-16	280	17	231	24	335	26	756	15	9
840118	0000	1	0	-15	290	16	215	23	307	25	647	15	9
840118	0100	1	0	-15	290	16	175	23	249	24	391	10	6
840118	0200	1	0	-15	290	16	210	24	302	25	642	15	10
840118	0300	1	0	-14	285	15	177	24	253	25	446	15	9
840118	0400	1	0	-14	285	15	159	23	221	24	353	11	7
840118	0500	1	0	-15	285	15	167	23	230	25	382	10	5
840118	0600	1	0	-15	290	14	166	23	237	25	371	11	5
840118	0700	1	0	-15	300	15	161	24	225	25	329	10	8
840118	0800	1	0	-16	295	13	143	24	205	25	263	11	5
840118	0900	1	0	-17	290	12	166	23	231	24	353	11	7
840125	0200	1	0	-17	335	9	141	22	207	23	256	21	13
840202	1100	1	0	-21	255	10	119	24	169	24	201	11	6
840207	0100	1	0	-9	285	14	168	23	237	24	380	13	8
840207	0300	1	0	-8	315	13	271	21	399	24	1034	53	34
840207	1900	1	0	-8	300	12	187	23	273	24	453	17	9
840207	2100	1	0	-7	295	14	208	21	306	22	559	41	17
840207	2300	1	0	-7	280	11	142	22	201	24	263	14	7
840208	0100	1	0	-8	255	5	189	20	282	21	456	42	25
840208	0300	1	0	-7	240	11	130	22	182		219	15	8
840302	1500	1	0	-18	295	16	231	24	333	26	724	12	9
840302	2100	1	0	-18	285	14	185	23	273	24	488	10	5
840303	0000	1	0	-16	295	14	149	23	209	24	291	9	6
840622	1200	1	0	-21	237	15	142	22	200	22	254	10	6
840622	1500	1	0	-21	235	15	159	24	218	25	292	30	23
840622	1800	1	0	-21	237	16	169	23	235	24	344	23	22
840622	2100	1	0	-20	246	12	123	23	157	24	176	9	5
840623	0000	1	0	-21	295	13	160	23	224	24	329	15	13
840623	0300	1	0	-19	319	12	154	24	216	24	306	13	9
840623	0600	1	0	-19	303	11	136	23	190	23	233	10	6
840623	0900	1	0	-20	296	9	116	23	143	24	160	8	4
840623	1200	1	0	-20	280	7	105	25	127	25	119	11	8
840623	2100	1	0	-19	265	7	103	25	128	25	114	11	5
840624	0000	1	0	-20	323	9	140	22	202	23	252	13	9
840624	1200	1	0	-20	315	10	127	23	168	24	198	11	8
840624	1500	1	0	-19	317	7	108	24	132	24	133	8	4
840624	2100	1	0	-19	258	9	106	25	139	26	124	10	6
840625	0300	1	0	-18	271	9	116	24	147	24	154	12	8
840625	0600	1	0	-19	259	12	140	23	196	24	240	14	11
840625	0900	1	0	-19	264	12	141	23	196	24	251	10	6
840625	1200	1	0	-19	288	10	118	23	143	23	161	9	6
840610	1100	1	0	-15	310	18	308	26	442	28	1297	48	36
840610	1200	1	0	-14	310	18	331	26	469	27	1472	49	41
840610	1300	1	0	-14	310	14	283	25	412	27	1145	30	39
840610	1400	1	0	-14	310	13	300	26	422	28	1236	35	39
840610	1500	1	0	-13	315	16	251	24	365	26	883	33	32
840610	1600	1	0	-13	315	15	232	24	334	26	755	26	33
840610	1700	1	0	-13	315	15	199	24	281	24	520	23	26
840610	1800	1	0	-13	320	13	153	22	213	23	522	16	13
840610	1900	1	0	-13	315	12	128	23	173	24	189	16	9

STATION : 02636

DATUM	TIJD GMT	BEIR	AF	WSI CM	WR	WS M/S	GGH Ø.1CM	GGI Ø.15	HL1/3 Ø.1CM	HL1/3 Ø.15	HL1 Ø.1CM	HL2 Ø.1CM	HL3 Ø.1CM
840910	2000	1	0	-13	315	8	117	25	154	26	138	16	9
840910	2100	1	0	-13	315	7	124	23	170	24	204	13	7
840911	0100	1	0	-13	305	8	141	24	195	25	246	18	16
840911	0200	1	0	-13	305	10	132	24	183	24	204	13	9
840911	0300	1	0	-13	305	11	155	24	213	24	297	19	15
840911	0400	1	0	-13	310	10	132	24	180	24	216	13	9
840911	0500	1	0	-14	280	11	132	23	177	23	210	11	8
840911	0600	1	0	-14	270	10	149	24	204	25	268	19	15
840911	0700	1	0	-14	270	10	156	23	217	23	330	15	14
840911	0800	1	0	-14	275	11	160	23	223	24	337	26	18
840911	0900	1	0	-15	275	11	153	22	209	23	295	14	13
840911	1000	1	0	-15	260	12	160	22	223	23	339	20	21
840911	1100	1	0	-15	255	12	166	22	230	24	356	31	25
840911	1200	1	0	-15	255	12	150	22	210	23	289	20	15
840911	1300	1	0	-15	255	11	140	23	199	24	258	16	9
840911	1400	1	0	-15	270	12	140	23	201	24	249	18	13
840911	1500	1	0	-15	255	11	139	23	192	24	240	19	16
840911	1600	1	0	-15	265	11	144	23	206	24	272	15	15
841122	1800	1	0	-16	237	20	210	26	310	26	560	20	30
841122	1830	1	0	-19	250	13	170	27	260	27	400	10	20
841123	0330	1	0	-27	268	16	190	25	280	24	480	10	20
841123	0400	1	0	-31	259	16	210	27	290	27	510	20	40
841123	0430	1	1	-28	264	19	250	28	340	29	760	20	30
841123	0500	1	0	-27	265	17	230	28	320	30	610	30	30
841123	0530	1	0	-28	261	17	240	28	340	29	750	20	30
841123	0600	1	0	-28	254	16	200	27	290	26	480	10	10
841123	0630	1	0	-28	254	17	180	26	260	26	380	0	20
841123	0700	1	0	-28	254	15	160	26	230	24	330	0	10
841123	0730	1	0	-28	247	14	130	26	180	25	190	0	0
841123	1000	1	0	-26	229	17	140	25	190	25	170	0	10
841123	1200	1	0	-27	221	14	140	25	200	24	210	0	10
841123	1300	1	0	-26	220	15	140	25	190	24	180	0	10
841123	1830	1	0	-23	203	16	160	27	220	27	230	0	0
841123	2000	1	0	-24	209	16	150	26	200	26	200	0	0
841123	2030	1	0	-24	233	22	250	27	350	27	790	10	20
841123	2100	1	0	-28	228	21	250	27	360	28	820	20	40
841123	2130	1	0	-28	231	22	260	27	370	29	880	30	50
841123	2200	1	0	-27	239	22	240	26	340	27	750	40	30
841123	2230	1	0	-25	236	24	230	26	340	27	700	10	20
841123	2300	1	0	-27	238	23	240	27	340	28	810	20	40
841123	2330	1	0	-28	242	22	240	27	340	28	760	20	40
841124	0000	1	0	-27	278	17	220	27	310	28	620	20	30
841124	0030	1	0	-26	286	18	240	29	330	30	660	20	30
841124	0100	1	0	-27	276	19	230	29	310	29	660	10	20
841124	0130	1	0	-25	265	19	230	28	320	28	650	10	10
841124	0200	1	0	-25	257	19	240	28	330	29	750	10	10
841124	0230	1	0	-25	258	17	220	27	320	27	590	10	10
841124	0300	1	0	-26	254	18	220	29	300	29	560	0	0
841124	0330	1	0	-25	254	17	200	27	280	27	460	0	0
841124	0400	1	0	-25	254	16	170	26	240	26	330	0	0

STATION : 02636

DATE	TIME	BEIR	AF	WSI	WR	WS	GS	GG	H1/3	H1/3	IE1	IE2	IE3
	GMT			CM		M/S	0.1CM	0.1S	0.1CM	0.1S	0.1CM2	0.1CM2	0.1CM2
841124	0430	1	0	-24	256	17	160	25	240	23	320	0	0
841124	0500	1	0	-25	255	16	160	25	240	23	310	0	0
841124	0530	1	0	-25	253	16	160	26	250	26	300	0	0
841124	0600	1	0	-25	249	17	160	26	240	25	340	0	0
841124	0630	1	0	-24	249	15	140	26	200	25	230	0	0
850327	1500	1	0	-18	338	9	120	25	170	21	150	0	0
850329	1130	1	0	-18	234	13	140	25	190	24	180	0	0
850401	2000	1	0	-14	221	10	130	24	180	22	170	0	0
850401	2030	1	0	-14	226	15	130	25	180	23	160	0	0
850401	2300	1	0	-14	227	18	140	25	190	23	180	0	0
850401	2330	1	0	-15	231	17	150	25	210	24	250	0	0
850402	0100	1	0	-14	231	16	150	25	210	23	250	0	0
850402	0130	1	0	-15	232	18	160	25	230	24	280	0	0
850402	0200	1	0	-14	236	17	190	25	260	23	420	0	0
850402	0230	1	0	-15	236	16	170	25	250	23	360	0	0
850402	0300	1	0	-14	238	16	160	25	230	22	280	0	0
850402	0330	1	0	-14	238	15	140	25	200	22	200	0	0
850402	0400	1	0	-14	239	16	130	25	180	23	160	0	0
850402	0630	1	0	-14	243	13	140	25	200	22	230	0	0
850407	2230	1	0	0	209	13	130	26	180	26	140	0	20
850407	2300	1	0	1	212	12	170	25	240	25	300	0	50
850407	2330	1	1	6	208	11	140	24	190	24	210	0	10
850408	0230	1	0	8	199	12	130	24	180	23	160	0	0
850408	0400	1	0	9	204	15	150	24	200	24	210	0	0
850408	0430	1	0	8	206	14	140	25	190	24	180	0	0
850408	0500	1	0	8	206	14	160	25	230	23	270	0	0
850408	0530	1	0	8	211	13	140	25	200	24	220	0	0
850408	0600	1	0	8	211	13	130	25	180	24	160	0	0
850408	0700	1	0	9	210	13	130	24	180	23	180	0	0
850408	0800	1	0	9	218	14	130	25	180	23	160	0	0
850408	0830	1	0	9	221	14	150	25	210	23	230	0	0
850408	0900	1	0	9	225	15	160	24	230	22	320	0	0
850408	0930	1	0	9	229	14	150	25	210	23	260	0	0
850408	1000	1	0	9	231	17	150	24	220	22	270	0	0
850408	1030	1	0	9	228	18	190	25	270	23	460	0	0
850408	1100	1	0	8	234	16	170	25	250	24	340	0	0
850408	1130	1	0	8	235	15	170	25	240	24	330	0	0
850408	1200	1	0	9	234	15	160	24	220	23	280	0	0
850408	1230	1	0	9	237	15	170	24	250	23	360	0	0
850408	1300	1	0	9	236	16	150	25	220	23	260	0	0
850408	1330	1	0	9	235	17	160	25	220	24	250	0	0
850408	1400	1	0	8	238	15	170	25	240	24	310	0	0
850408	1430	1	0	8	238	15	160	25	240	23	320	0	0
850408	1500	1	0	8	238	15	180	25	260	23	360	0	0
850408	1530	1	0	8	240	14	170	25	240	24	320	0	0
850408	1600	1	0	9	239	14	170	25	240	24	330	0	0
850408	1630	1	0	8	239	14	150	25	220	24	260	0	0
850408	1700	1	0	8	237	13	180	25	180	24	160	0	0
850411	2130	1	1	9	265	13	130	26	190	24	170	0	10
850411	2200	1	0	9	268	12	130	25	180	28	160	0	10

STATION : 02636

DATAUM	TIJD GMT	BETR	AF	WST CM	WR	WS M/S	GGH 0.1CM	GGT 0.1S	H1/3 0.1CM	TH1/3 0.1S	TE1 0.1CM2	TE2 0.1CM2	TE3 0.1CM2
050411	2300	1	0	5	264	15	130	27	180	28	170	0	10
050411	2330	1	0	5	266	16	180	26	260	25	420	0	10
050412	0000	1	0	6	272	17	190	27	260	26	430	0	20
050412	0030	1	0	4	272	17	230	27	330	28	640	10	20
050412	0100	1	0	5	278	17	280	28	390	29	1060	20	40

TOTAL REESEN : 205

GOLFDEMPENDE CONSTRUCTIE

Deel III

Literatuur onderzoek

1. INLEIDING

In de volgende hoofdstukken worden de resultaten gepresenteerd van het literatuuronderzoek naar - voornamelijk drijvende - golfdempende constructies.

In hoofdstuk 2 komt de verdeling van golfenergie over de waterdiepte aan de orde. Verder worden de reflectie - en de transmissiecoëfficiënt gedefinieerd: grootheden waarmee de golfdemping gekarakteriseerd kan worden.

Resultaten van theoretisch en laboratoriumonderzoek naar het golfdempende gedrag van eenvoudige constructievormen worden weergegeven in hoofdstuk 3.

In hoofdstuk 4 ligt de nadruk op in de praktijk toepasbare golfdempende constructies.

Tot slot komen in hoofdstuk 5 kort de mogelijke invloeden van golfdempende constructies op het erosie - en aanzandingsproces van oevers aan de orde.

Een uitgebreide samenvatting van de bevindingen van dit literatuuronderzoek wordt gepresenteerd in deel 1 van "Golfdempende constructies".

2. GOLFDEMPING

2.1 Energieverdeling in golven

In golven is een hoeveelheid energie aanwezig. Golfdempende constructies zorgen ervoor dat achter die constructies minder golfenergie aanwezig is dan ervoor.

De verdeling over de waterdiepte van de kinetische energie in golven is sterk afhankelijk van de verhouding tussen de waterdiepte (h) en de golflengte (L) : h/L . Zie figuur 2.1.3. Daaruit blijkt dat naarmate de waterdiepte toeneemt t.o.v. de golflengte, de concentratie van de kinetische energie nabij het wateroppervlak groter wordt (figuur 2.1.1).

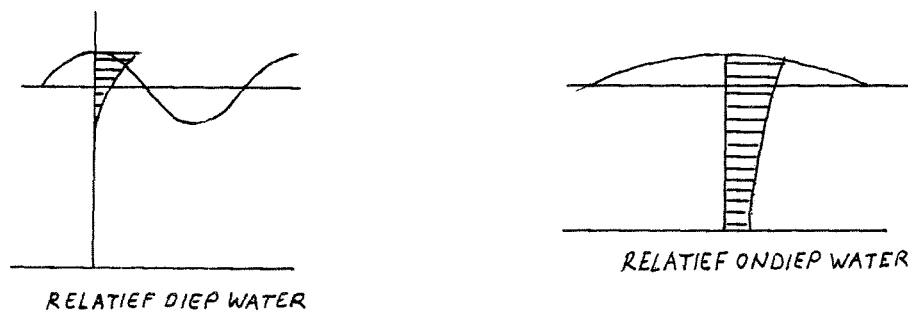


Fig. 2.1.1. Snelheidsverdeling onder golven

Omgekeerd zal het snelheidsprofiel in relatief ondiep water steeds gelijkmatig worden (figuur 2.1.2).

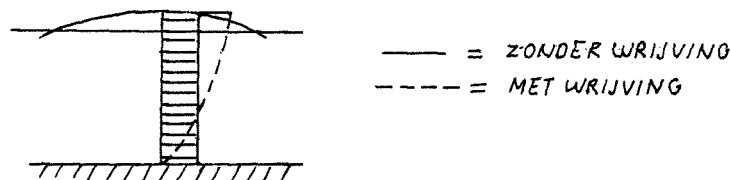


Fig. 2.1.2. Snelheidsverdeling in ondiep water

Uit figuur 2.1.3 blijkt dat een constructie in diep water, die slechts een relatief klein deel van de waterdiepte in beslag neemt, in wisselwerking kan staan met een aanzienlijk deel van de in de golven aanwezige

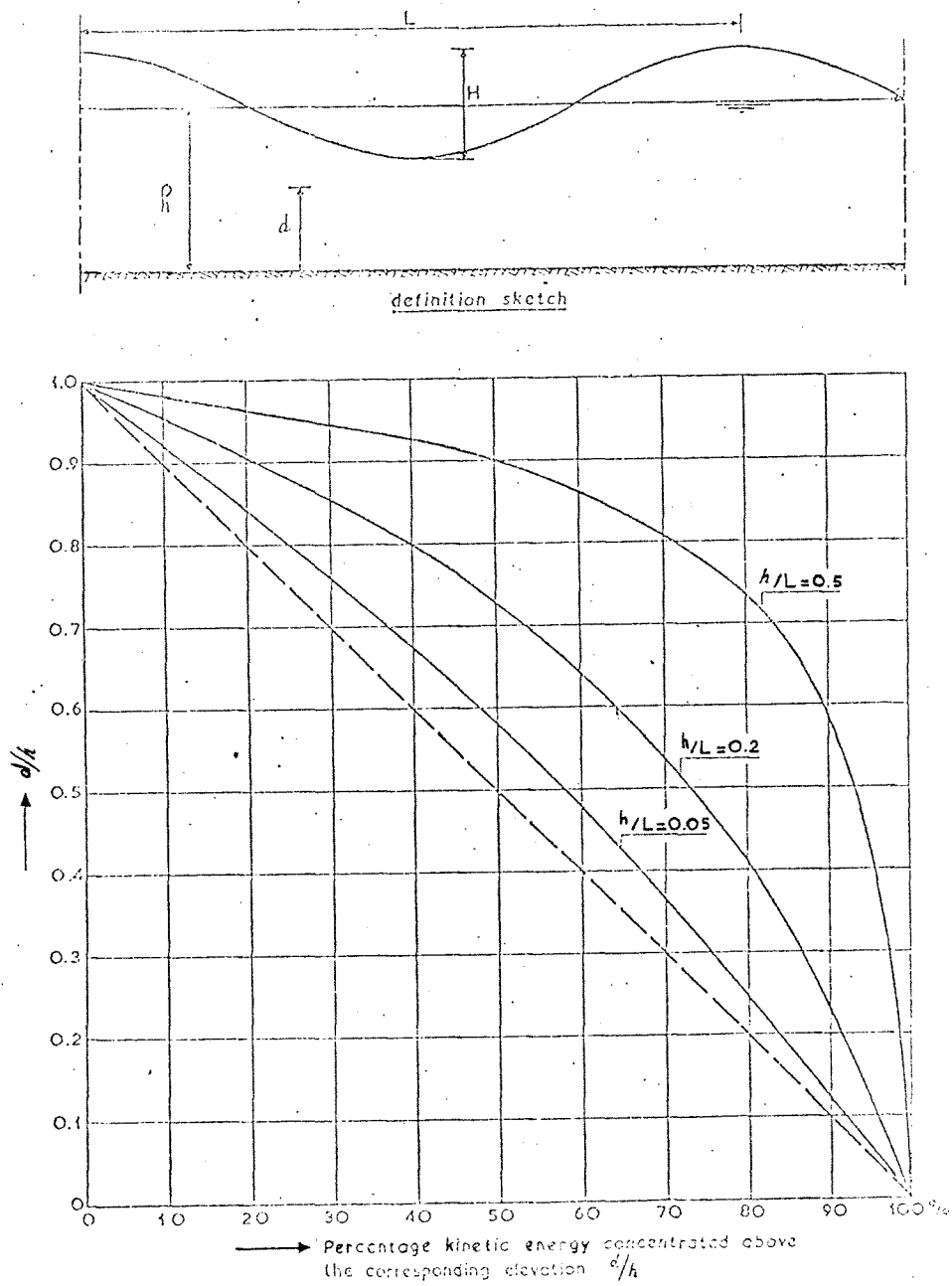


Fig. 2.1.3. Verdeling van de kinetische golfenergie over de diepte

kinetische energie. Op basis van dit gegeven zijn vele pogingen gedaan om constructies, gesitueerd in de buurt van de waterlijn, te gebruiken voor golfdemping. Met name is veel onderzoek gedaan naar drijvende constructies.

2.2. Karakteristieken van golfdempende constructies

Omdat het doel van golfdempende constructies het beperken van de golfhoogte van de doorgaande golven is, kan de werking, het effect van dergelijke constructies, bepaald worden aan de hand van de golfhoogten van de inkomende, de doorgegeven en de gereflecteerde golven en de mate van energievernietiging door bijv. dissipatie.

De verhouding tussen doorgegeven (getransmitteerde) en inkomende golfhoogte wordt de transmissiecoëfficiënt genoemd:

$$C_T = H_T/H_I, \text{ met } H_I = \text{hoogte inkomende golf}$$

$$H_T = \text{hoogte getransmitteerde golf}$$

Daarnaast is het van belang om de mate van reflectie tegen een constructie te weten. Daarvoor wordt de reflectiecoëfficiënt gebruikt:

$$C_R = H_R/H_I, \text{ met } H_R = \text{hoogte gereflecteerde golf.}$$

Als alle energie tijdens een dempingsproces behouden blijft, geldt:

$$\left(\frac{H_T}{H_I}\right)^2 + \left(\frac{H_R}{H_I}\right)^2 = 1$$

De energie in een golf per eenheid van wateroppervlak is nl.:

$$E = \frac{1}{8} \rho g H^2, \text{ met } H = \text{golfhoogte.}$$

Gaat wel energie verloren, bijvoorbeeld door turbulentie of dissipatie in de constructie, dan geldt:

$$C_T^2 + C_R^2 < 1$$

2.3 Golfdempingsmechanismen

Het golfdempende effect van constructies berust op één van de volgende verschijnselen of een combinatie daarvan.

- a. Reflectie van de golven.
- b. Vernietiging van golfenergie door dissipatie: omzetten van energie in warmte.
- c. Vernietiging van golfenergie door inelastische deformatie van de constructie (inwendige wrijving van het materiaal).

ad a

Reflectie treedt op als de orbitaalbeweging van de waterdeeltjes wordt verhinderd. De orbitaalbeweging ziet er als volgt uit:

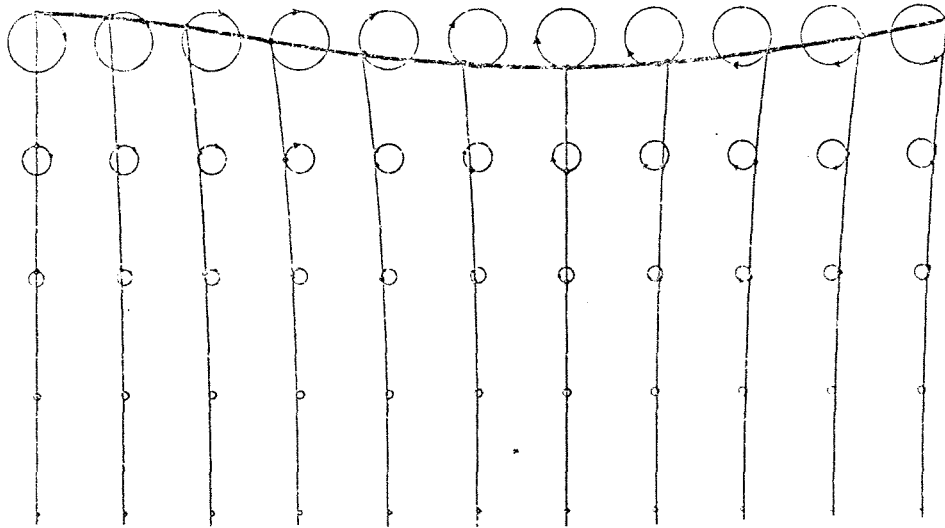


Fig. 2.3.1. Banen van waterdeeltjes in diep water

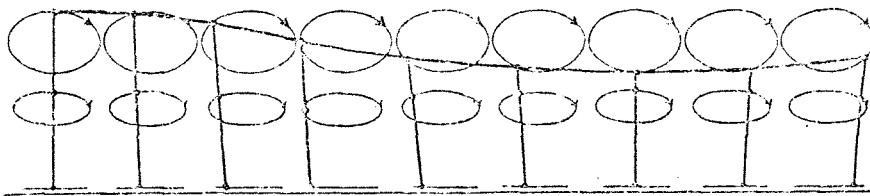


Fig. 2.3.2. Banen van waterdeeltjes in ondiep water

In diep water ($L \gg h$) zijn de banen van de waterdeeltjes cirkels; in ondiep water ($L \approx 1/20 h$) zijn het ellipsen.

De orbitaalbeweging kan in horizontale of in verticale zin worden onderbroken, of ergens daar tussenin. Zie de figuren 2.3.3 en 2.3.4.

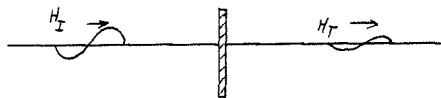


Fig. 2.3.3. Vertikale onderbreking

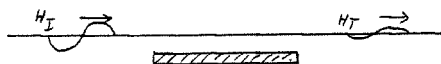


Fig. 2.3.4. Horizontale onderbreking

ad b

Dissipatie kan plaatsvinden door de golven instabiel te maken, ze te doen breken.

Een golf die breekt, stort geheel of gedeeltelijk in, meestal als gevolg van komen op ondiep water, soms ook door het stuiten op een object of het komen in een gebied met tegenstroom. De golven worden te hoog voor de waterdiepte, of ze worden te steil.

Een constructie met een helling kan een "strandeffect" teweeg brengen (figuur 2.3.5).

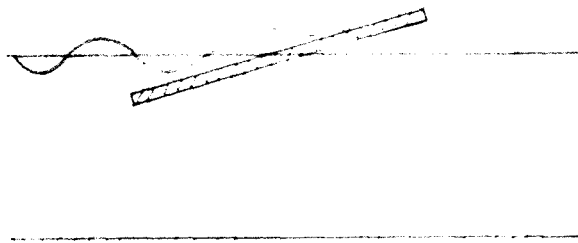


Fig. 2.3.5. Strandeffect

Een tegenstroom kan worden opgewekt m.b.v. pneumatische of hydraulische golfbrekers. Door lucht- of waterjets (pneumatisch resp. hydraulisch) worden bij het wateroppervlak horizontale stromingen opgewekt. De aan de

looprichting van de golven tegengestelde stroming maakt de golven steiler, waardoor ze gaan breken (Wiegel, [1964], Ippen [1966], Wetzel [1955]).

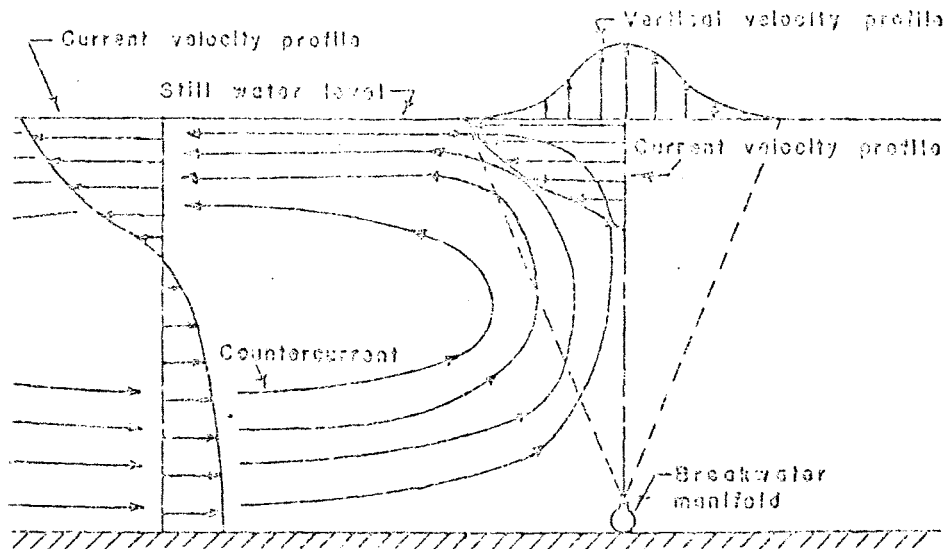


Fig. 2.3.6. Hydraulische golfbreker

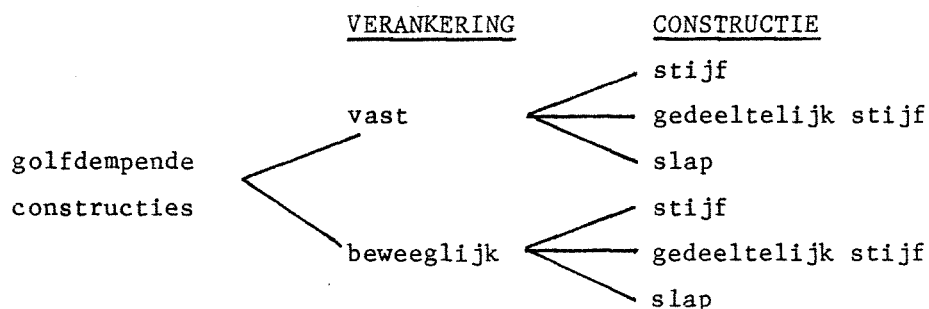
ad c

Inelastische deformatie van de constructie treedt op als een dergelijke constructie een zeker energieabsorberend vermogen heeft.

Drijvende gladde matten van rubber zijn voorbeelden van dergelijke constructies met een groot absorberend vermogen.

2.4 Categorieën golfdempende constructies

Golfdempende constructies kunnen om de theorie wat te structureren als volgt worden ingedeeld:



Er kan ook een indeling naar vorm worden gemaakt:

- a. Constructies met relatief geringe constructiebreedte (fig. 2.4.1).
- b. Brede constructies met een geringe constructiehoogte (fig. 2.4.2).
- c. Overige.

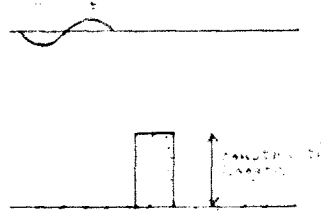
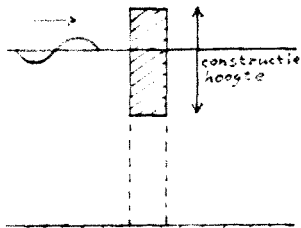


Fig. 2.4.1. Constructie met relatief geringe constructiebreedte

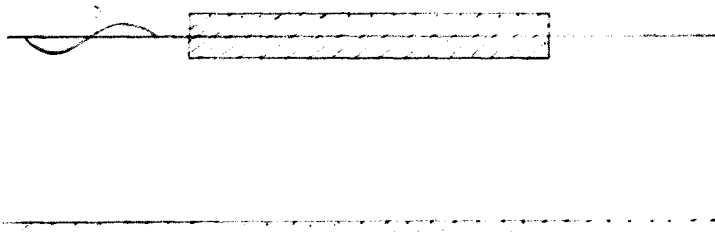


Fig. 2.4.2. Brede constructie

ad a

De golfdempende werking van smalle damvormige constructies berust vnl. op het terugkaatsen van de inkomende golven.

Naarmate een groter deel van de waterdiepte door een constructie in beslag wordt genomen, wordt meer van de golven teruggekaatst. De krachten op de constructie nemen dan eveneens toe. Zijn constructies beweeglijk, dan kunnen door de bewegingen nieuwe golven worden opgewekt; het dynamisch gedrag is dan van belang.

ad b

Bij de golfdempende werking van brede constructies met een geringe constructiehoogte spelen meerdere factoren een rol:

1. Terugkaatsing tegen de onderkant van de constructie (zgn. indirecte terugkaatsing).
2. Een zekere terugkaatsing tegen de voorkant van de constructie.
3. Vernietiging van golfenergie in turbulentie.
4. Afhankelijk van de stijfheid van de constructie: vernietiging van golfenergie door inwendige wrijving van het constructiemateriaal.

ad c

Hieronder vallen bijvoorbeeld de pneumatische en hydraulische golfbrekers. Ook verankerde ondergedompelde boeien ("tethered floats" horen in deze categorie thuis. Dergelijke boeien krijgen t.g.v. de drukgradiënt in golven een beweging tegengesteld aan de waterbeweging. Het relatieve snelheidsverschil tussen object en water wordt daardoor groot, het als gevolg dat energieverlies t.g.v. wrijving fors toeneemt (dat verlies is nl. evenredig met het kwadraat van de snelheid. Voor een goede golfdempende werking is een veld van dergelijke boeien nodig (fig. 2.4.3)). De golfdempende werking van deze constructies komt in hoofdstuk 4 aan de orde.

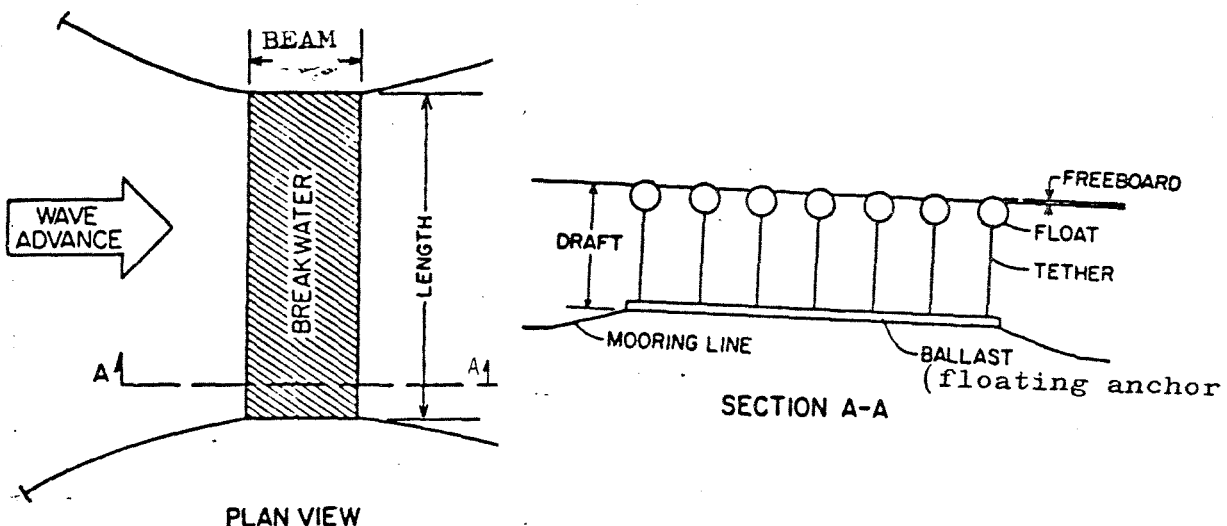


Fig. 2.4.3. Getuide boeien (Tethered float)

3. INTERACTIE TUSSEN OBJECTEN EN GOLVEN

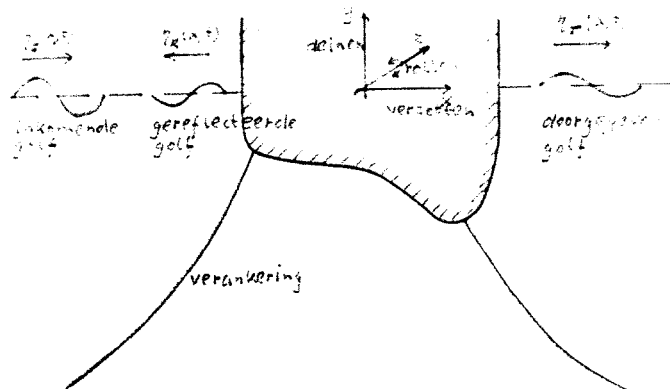
3.1. Inleiding

Voordat tot behandeling van de golfdempende werking van constructies wordt overgegaan, wordt eerst de invloed bekeken van eenvoudige objecten en golven, en omgekeerd.

In de navolgende gevallen wordt nagegaan wat de transmissiecoëfficiënt C_T en de reflectiecoëfficiënt C_R zijn, wat de invloed is van de bewegingen van de objecten, van hun massa en/of massatraagheid en wat de krachten zijn.

Dat gebeurt aan de hand van theorieën en experimenten. Nadat één en ander voor verschillende objectvormen is behandeld, wordt de golfdemping van de objecten onderling vergeleken. In het algemeen worden 2-dimensionale gevallen beschouwd. Dit is een gevolg van het feit dat vroegere onderzoeken zich ook vnl. hiertoe beperkt hebben. Slechts voor enkele gevallen (prototype tests of tests met bestaande golfdempende constructies) is de invloed van de richting van de inkomende golven meegenomen in de onderzoeken.

Het 2-dimensionale geval is in figuur 3.1.1 schematisch weergegeven (voor een drijvend object).



Bewegingen:

- verzetten ("sway"): heen- en weergaande beweging in x-richting
- deinen ("heave"): op- en neergaande beweging in y-richting
- rollen ("roll"): rotatie om z-as (as $\perp$ richting inkomende golven)

Fig. 3.1.1. Definitieschets

In het navolgende komen allereerst objecten aan de orde die gesitueerd zijn in de buurt van het wateroppervlak (par. 3.2 t/m par. 3.5). Daarna komen objecten aan de orde die bij de bodem zijn gesitueerd (par. 3.6). De invloed van de massa en het massatraagheidsmoment (par. 3.7) en de verankeringskrachten (par. 3.8) komen als laatste aan de orde.

3.2. Vaste verticale of schuine platen

Voor een vaste, stijve, verticale, dunne plaat, die van boven het wateroppervlak doorloopt tot op enige afstand daaronder, vond Ursell [1947] voor diepwater condities een analytische oplossing voor de transmissiecoëfficiënt C_T en reflectiecoëfficiënt C_R :

$$C_T = \frac{H_T}{H_I} = \frac{K\left(\frac{2\pi d}{L}\right)}{\sqrt{\pi^2 I^2\left(\frac{2\pi d}{L}\right) + K^2\left(\frac{2\pi d}{L}\right)}}, \quad C_R = \frac{H_R}{H_I} = \sqrt{1 - C_T^2},$$

met

- $I, K,$ = Besselfuncties
- D = "diepgang" van de plaat
- L = golflengte

In figuur 3.2.1 zijn theoretische en gemeten C_T -waarden weergegeven voor een verticale, stijve, dunne plaat voor een variabele diepgang. Daaruit blijkt dat voor $2\pi D/L > 1$ de transmissiecoëfficiënt sterk afneemt.

Ursell's analytische oplossing is niet toepasbaar voor ondiep water en voor waterdiepten tussen diep en ondiep water.

Wiegel [1960] beperkt zich niet tot diep water. Hij neemt als uitgangspunt dat de golfenergie ter hoogte van de plaat wordt gereflecteerd en dat de golfenergie beneden de plaat wordt doorgelaten. De formule voor de transmissiecoëfficiënt wordt dan:

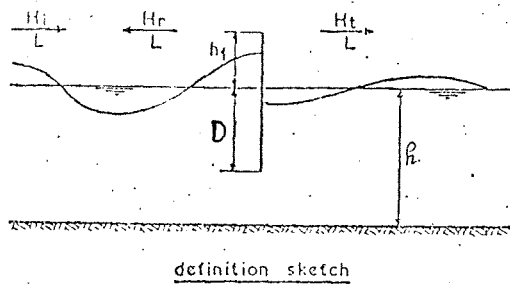
$$C_T = \sqrt{\frac{2k(h-D) + \sinh 2k(h-D)}{2kh + \sinh 2kh}}$$

met $k = 2\pi/L$ = golfgetal van de inkomende golf.

Voor een aantal waarden van h/L is het verloop van C_T voor variabele $2 D/L$ weergegeven in fig. 3.2.1.

Uit de figuur blijkt dat voor diep water ($h/L > 0,5$) Wiegel's oplossing afwijkt van Ursell's exacte oplossing.

In de figuur zijn ook laboratoriummetingen opgenomen. Uit die metingen blijkt dat voor toenemende golfsteilheid (H_I/L) de waarde van de transmissiecoëfficiënt afneemt. Dit hangt volgens Wiegel [1960] vermoedelijk samen met energieverlies t.g.v. loslating onder aan de



THEORY:

--- "Deep water", Ursell
 --- "Energy transmission",
 Wiegel

LABORATORY MEASUREMENTS:

$T = 1.5 \text{ s}$ { $\circ$ $H_i/L = 0.0244$
 $h = 1.53 \text{ ft}$ { Δ $H_i/L = 0.0172$
 $L = 9.00 \text{ ft}$ { $\square$ $H_i/L = 0.0105$
 $h/L = 0.17$ { ∇ $H_i/L = 0.0055$

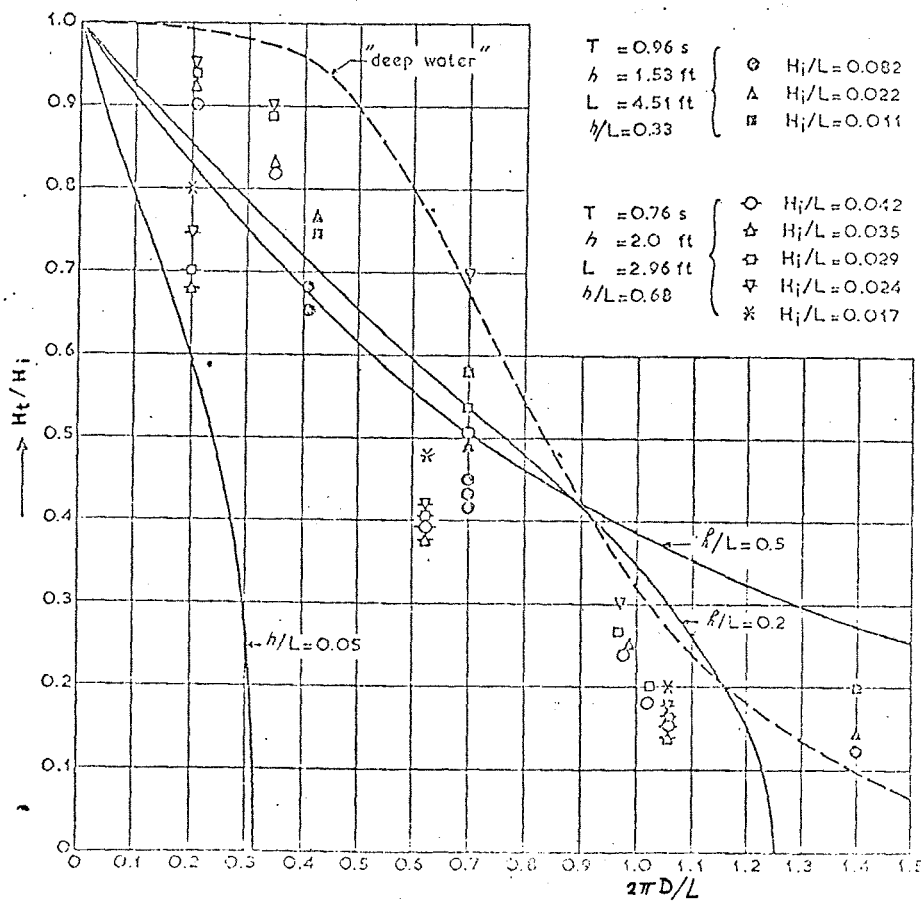


Fig. 3.2.1. C_t - waarden voor een verticale (dunne) plaat

plaat. Bij een grotere golfsteilheid en daardoor grotere snelheden van de waterdeeltjes treedt meer energieverlies op t.g.v. loslating dan bij een kleinere golfsteilheid. Er wordt dan meer golfenergie omgezet in turbulentie: de transmissiecoëfficiënt neemt af.

Lin en Abaspour [1982] passen een numerieke techniek toe voor het bepalen van o.a. de transmissiecoëfficiënt voor dunne platen. Zij gaan uit van de "Boundary Integral Equation Method" (BIEM). Behalve verticale platen beschouwen zij ook platen onder een helling.

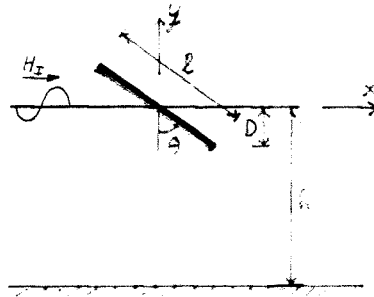


Fig. 3.2.2. Definitieschets

Zij toetsen hun numerieke oplossing voor een verticale plaat in diep water aan Ursell's oplossing. Er is een goede overeenstemming, zie fig. 3.2.3.

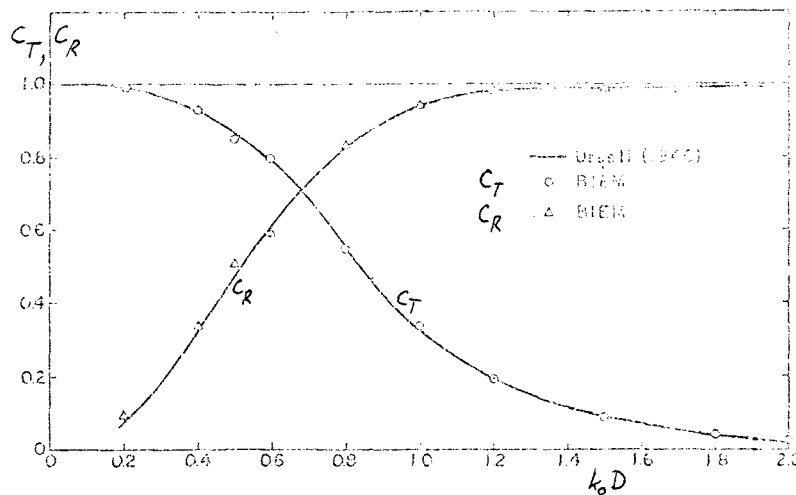


Fig. 3.2.3. Transmissie- en reflectie coëfficiënt

Voor $k_0 D = 1$ is de golfdempende werking goed, C_T wordt dan kleiner dan 0,3 ($k_0 = 2/L_0$; coëfficiënt 0 duidt op diep water waarden).

Voor de diepwater situatie is ook de resulterende horizontale kracht op de verticale plaat uitgerekend. Bij $k_0 D = 1$ wordt een maximum bereikt.

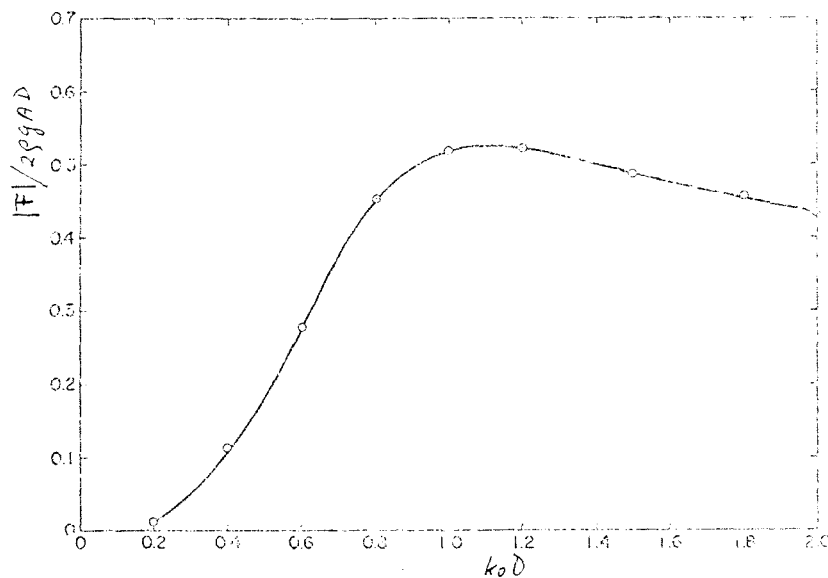


Fig. 3.2.4. Dimensieloze horizontale kracht

In de figuren 3.2.5, 3.2.6 en 3.2.7 zijn nog een aantal vergelijkingen gemaakt tussen Ursell, Wiegel en "BIEM".

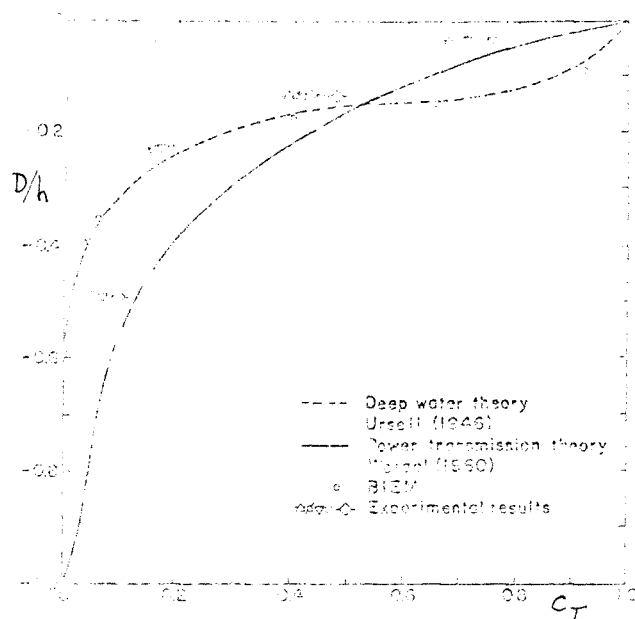


Fig. 3.2.5. Vergelijking van een aantal methoden ter bepaling van C_T
 ($k_0 h = 4,272$, diep water)

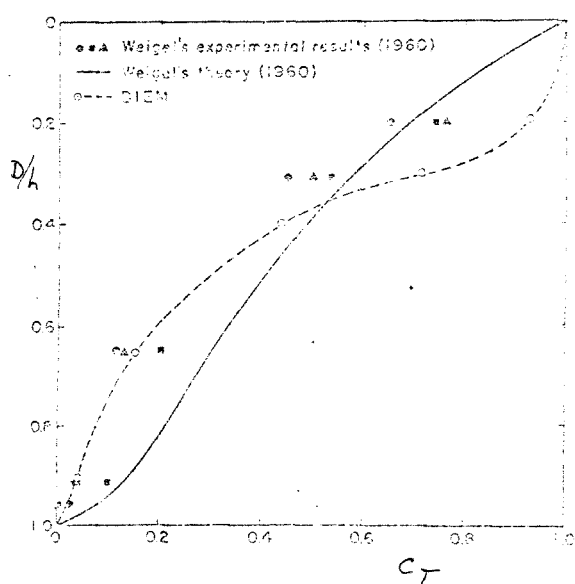


Fig. 3.2.6. Vergelijking van een aantal methoden ter bepaling van C_T
 ($k_0 h = 2,1362$, gemiddelde waterdiepte)

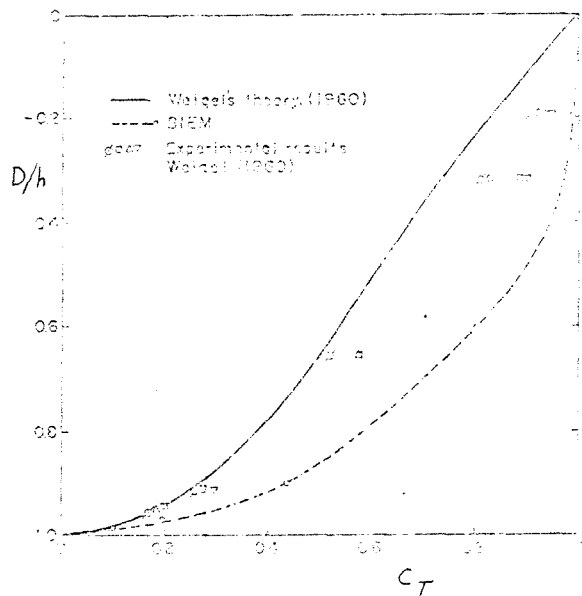


Fig. 3.2.7. Transmissiecoëfficiënt volgens verschillende theorieën
($kh = 1,06$)

Voor diep water zijn de overeenkomsten goed (met dien verstande dat Wiegels' benadering niet goed voldoet voor diep water), voor de overige waterdiepten zijn de overeenkomsten redelijk.

M.a.w. de Boundary Integral Equation Method kan gebruikt worden voor het bepalen van C_T .

Lin en Abaspour hebben dan ook berekeningen uitgevoerd om de golf-dempende werking van hellende platen te vergelijken met die van verticale platen. Enkele resultaten daarvan zijn weergegeven in de figuren 3.2.8, 3.2.9 en 3.2.10.

In de meeste gevallen blijkt een hellende plaat effectiever te zijn dan een verticale plaat.

Uit figuur 3.2.9 blijkt dat de berekende transmissiecoëfficiënt een symmetrische functie van (de hellingshoek) is. In werkelijkheid echter, als de mogelijkheid aanwezig is dat golven breken, kan voor negatieve de transmissiecoëfficiënt kleiner worden.

In figuur 3.2.10 zijn de berekende profielen van het vrije wateroppervlak weergegeven voor 3 hellingshoeken van de plaat. Voor $\alpha = 0^\circ$ komt het profiel overeen met het profiel van een staande golf. Voor $\alpha = 45^\circ$ is een duidelijke golfoploop waarneembaar.

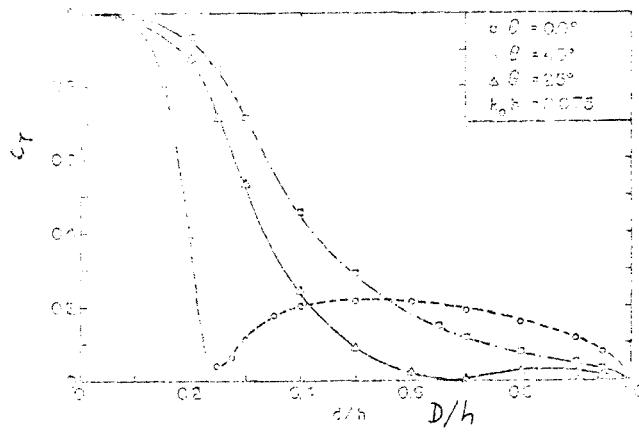


Fig. 3.2.8. Transmissiecoëfficiënt voor variabele hellingshoek en diepgang

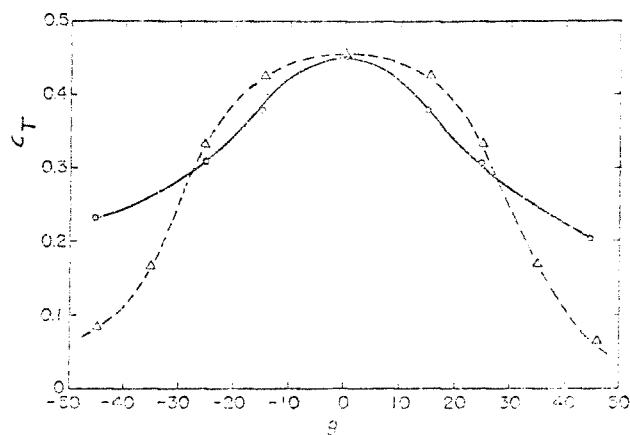


Fig. 3.2.9. Transmissiecoëfficiënt voor variabele hellingshoek ($k_0 h = 2,075$; $1/h = 0,4$; $d/h = 0,4$)

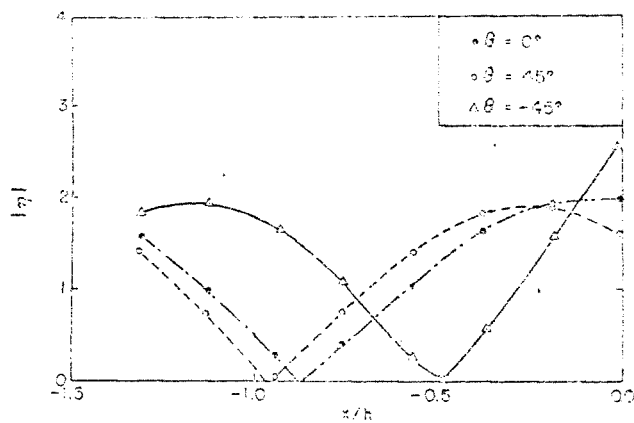


Fig. 3.2.10. Golfamplitude aan de voorzijde van een dunne plaat ($d/h = 0,4$; $k_0 h = 2,075$)

M.a.w., hellende platen geven i.h.a. een kleinere transmissiecoëfficiënt dan verticale platen (soms echter grotere). Door negatief te maken kan C_T nog kleiner worden t.g.v. breking van de golven.

3.3. Horizontale cilinders

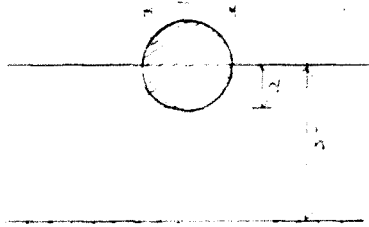


Fig. 3.3.1. Definitieschets

Voor diep water hebben Dean en Ursell [1959] gevonden, dat een gedeeltelijk ondergedompelde vaste cilinder, in vergelijking met een verticale plaat met overeenkomstige afmetingen (zelfde D), meer indirecte reflectie geeft. De transmissie wordt kleiner. Blijkbaar heeft de breedte invloed op C_T : hoe groter de breedte, hoe kleiner C_T .

Een geheel ondergedompelde cilinder in diep water geeft volgens Dean [1948] en Ursell [1948] geen reflectie. Derhalve zijn de hoogten van de inkomende en doorgaande golven nagenoeg gelijk. Hieruit blijkt het belang van de vorm als men een ondergedompelde golfdempende constructie wil ontwerpen.

Ijima, Chou en Yoshida [1976] hebben, uitgaande van Green's functie, een numerieke analyse gemaakt van de invloed van vaste en drijvende (verankerde) cilinders op de transmissiecoëfficiënt. De resultaten voor een vaste cilinder (in eindige waterdiepte) zijn weergegeven in figuur 3.3.2 (De coëfficiënten ν_1 , ν_2 en ν_3 worden gebruikt voor het bepalen van respectievelijk massa, massatraagheidsmoment en ondergedompeld volume: $M = \nu_1 a q h$, $I = \nu_2 a^2 (q h)^2$ en $V = \nu_3 a q h$). Er is een redelijke overeenstemming tussen theorie en experimenten.

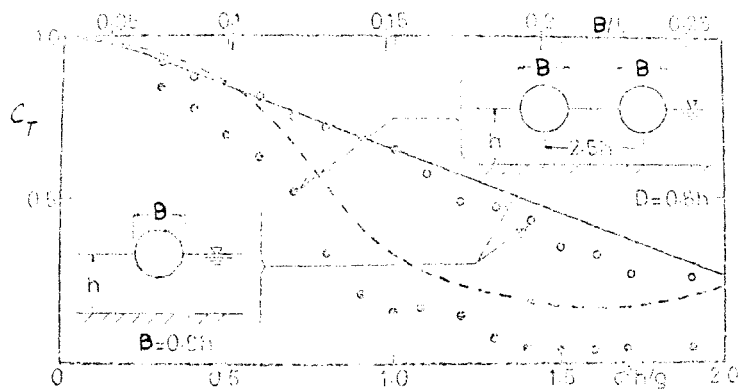


Fig. 3.3.2. Transmissiecoëfficiënt van vaste cilinders

In figuur 3.3.3 is hetzelfde gedaan voor een verankerde drijvende cilinder (in eindige waterdiepte). Ook hier is overeenstemming tussen theorie en metingen.

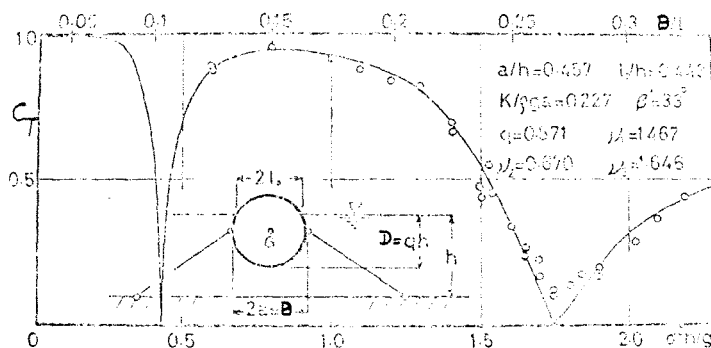


Fig. 3.3.3. Transmissiecoëfficiënt van een drijvende verankerde cilinder

Uit de figuur blijkt dat bij bepaalde frequentie de transmissiecoëfficiënt nul kan worden. Dat betekent, dat in situaties waarin alleen golven met die frequentie voorkomen, een dergelijk object uitstekende golfdempende eigenschappen zal vertonen. In werkelijkheid echter zal een reeks van frequenties voorkomen. In ongunstige gevallen treedt dan bijna géén golfdemping op (zie figuur).

In figuur 3.3.4 zijn voor dezelfde situatie (drijvende verankerde cilinder) de reflectiecoëfficiënt en de amplituden van de bewegingen weergegeven (x/ζ_0 : beweging in horizontale richting; z/ζ_0 : beweging in verticale richting; Θ/ζ_0 : rolbeweging).

De eerste keer dat C_T nul wordt (en C_R zeer groot) treedt op als de rolbeweging maximaal is. Zoals verderop zal blijken, is de demping dan vooral een gevolg van het feit dat de rolbeweging van het object tegengesteld is aan de golfbeweging (zelfde frequentie, maar tegengestelde fase).

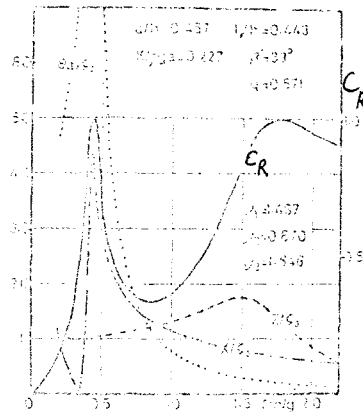


Fig. 3.3.4. Bewegingsamplitude en reflectiecoëfficiënt

Yamamoto en Yoshida [1978] hebben, uitgaande van Green's functie, eveneens onderzoek gedaan naar de interactie tussen cilinders en golven. Zij deden dit voor diepwater condities. Voor één geval hebben zij bekeken wat het verschil is in transmissie tussen diepwater condities en condities waarin de golven de bodem voelen.

Hun resultaten zijn weergegeven in de figuren 3.3.5 t/m 3.3.13. Zij hebben diverse gevallen met elkaar vergeleken:

- vaste, vrij drijvende en verankerde cilinders
- verschillende cilindervormen
- verschillende veerconstanten van de verankeringen
- verschillende aangrijpingshoeken van de verankeringen

Uit de figuren 3.3.5 en 3.3.6 blijkt dat met name voor "gladde" objecten hun theorie goed overeenstemt met experimenten. Voor objecten met scherpe hoeken, zoals rechthoekige lichamen, beschrijft de theorie de werkelijkheid ook goed, behalve in de buurt van de eigenfrequenties van de objecten; dan wordt het effect van stroomloslating belangrijk (in de theorie wordt dat niet meegenomen).

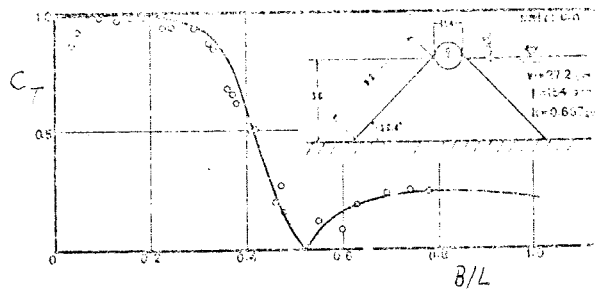


Fig. 3.3.5. Transmissiecoëfficiënt van een drijvende cilinder

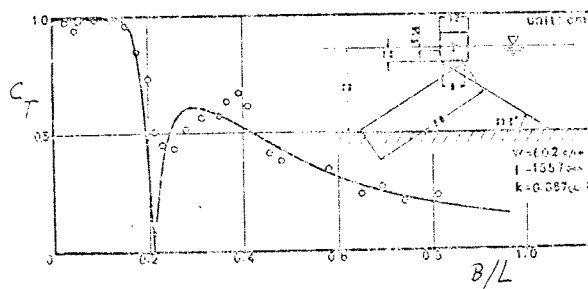


Fig. 3.3.6. Transmissiecoëfficiënt van een drijvende rechthoekige cilinder

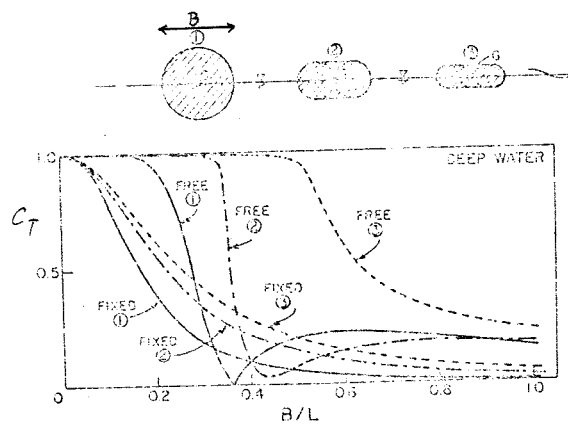


Fig. 3.3.7. Transmissiecoëfficiënt van een aantal cilinders (vast en vrij drijvend)

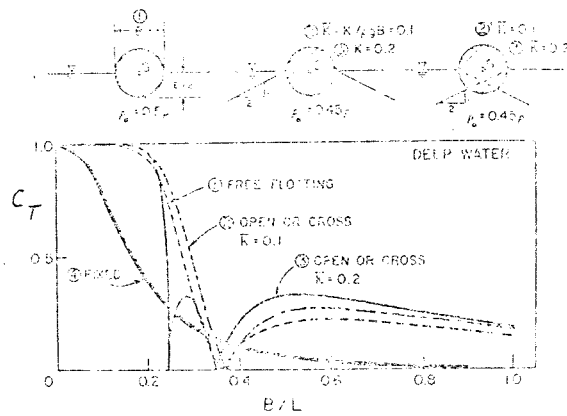


Fig. 3.3.8. Transmissiecoëfficiënt bij verschillende verankeringswijzen

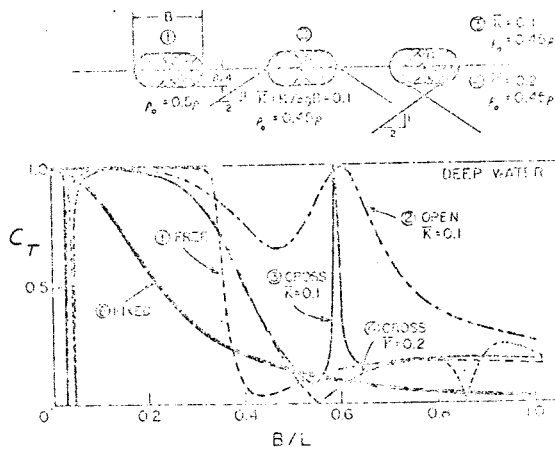


Fig. 3.3.9. Transmissiecoëfficiënt bij verschillende verankeringswijzen

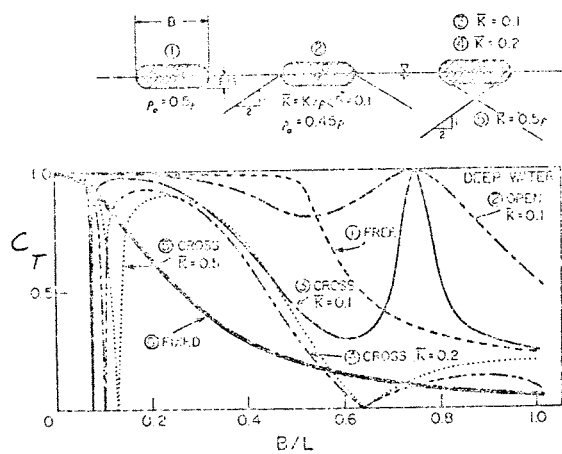


Fig. 3.3.10. Transmissiecoëfficiënt bij verschillende verankeringswijzen

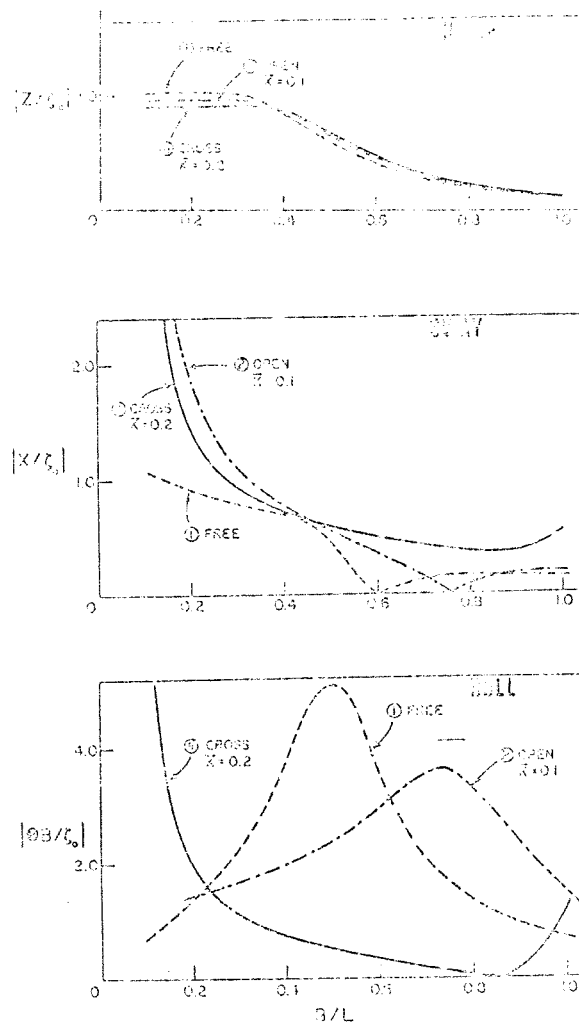


Fig. 3.3.11. Bewegingsamplitude van een cilinder ($D = B/6$) voor verschillende verankeringswijzen

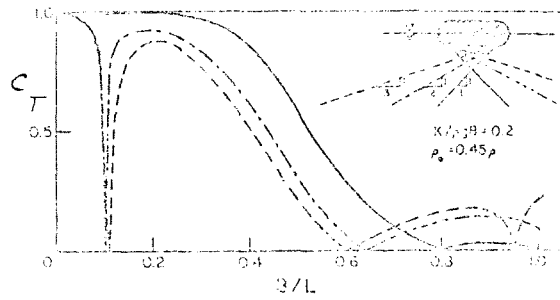


Fig. 3.3.12. Transmissiecoëfficiënt van een gekruist verankerde cilinder ($D = B/6$)

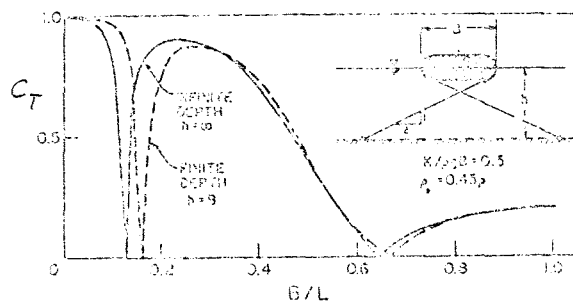


Fig. 3.3.13. Transmissiecoëfficiënt van een cilinder in diep en ondiep water

De conclusies van Yamamoto en Yoshida zijn:

- De golfdempende karakteristieken van cirkelvormige drijvende objecten zijn bijna onafhankelijk van de wijze van verankeren.
- Een drijvende, verankerde, semi-cirkel is effectief voor golven korter dan vier maal de cilinderdiameter.
- Bij toename van de verhouding breedte/diepgang (B/D) wordt het effect van de verankering belangrijker.
- Voor een cilinder met $B/D = 6$ geven gekruiste ankerlijnen duidelijk betere resultaten dan open ankerlijnen of het vrij drijvende geval.
- De karakteristieken van een drijvend golfdempend object zijn nagenoeg onafhankelijk van de waterdiepte.

Uit hun resultaten valt verder nog op te maken dat de vaste objecten in het algemeen betere golfdempende eigenschappen hebben dan de drijvende objecten met vergelijkbare afmetingen. Alleen in de buurt van de eigenfrequenties van de objecten zijn de eigenschappen van de drijvende constructies beter.

Uit de figuren 3.3.13 en 3.3.11 (3-cirkelcilinder met gekruiste ankerlijnen) blijkt ook hier de rolbeweging van grote invloed op de golfdemping als de golffrequenties in de buurt van de eigenfrequenties van het object zitten.

3.4 Rechthoekige objecten

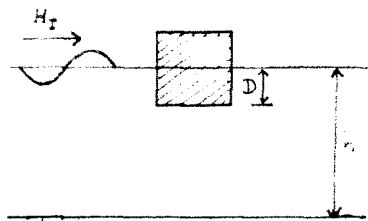


Fig. 3.4.1. Definitieschets

Onderzoek naar vaste, stijve, rechthoekige objecten in diep water, in de buurt van het wateroppervlak (figuur 3.4.1) is gedaan door Takano [1960] en Macagno [1956]. De theorie van Takano stemt goed overeen met de metingen van Macagno (volgens Ippen [1966]).

In figuur 3.4.2 zijn gedeelten van de krommen voor de reflectiecoëfficiënt volgens Takano's theorie weergegeven voor verhoudingen breedte/diepgang = s/D van 2,28 (kromme VI-1) en 11,66 (kromme VI-2). De figuur is overgenomen uit Ippen [1966]. In de figuur zijn ook reflectiecoëfficiënten voor andere vaste objecten weergegeven:

I - { verticale plaat, II - { vaste cirkelcilinder,
 { (D = diepgang) { (D = diepgang = straal)

III - vaste horizontale plaat met diepgang nul (D = halve breedte)

IV - verticale plaat vanaf de bodem tot op zekere diepte onder het wateroppervlak (D = resterende vrije ruimte boven de plaat).

Het zijn theoretische krommen voor diepwater condities.

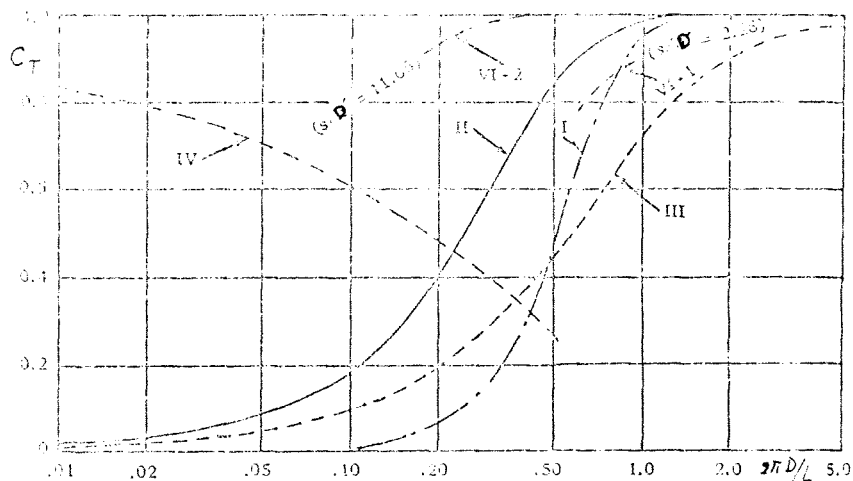


Fig. 3.4.2. Theoretische reflectiecoëfficiënt

Eveneens voor vaste, stijve, gedeeltelijk ondergedompelde objecten is onderzoek gedaan door Steimer en Sollitt [1978]; in figuur 3.4.6 is een definitieschets gegeven: In hun model kan rekening worden gehouden met stroomspreiding, contractie en wrijving langs de randen van het object. Het effect van die variabelen is slechts een percentuele daling van de reflectie- en transmissiecoëfficiënt voor een breed spectrum van golffrequentie.

Hun resultaten zijn weergegeven in de figuren 3.4.3 t/m 3.4.8.

Uit de figuren 3.4.4 en 3.4.5 blijkt een goede overeenstemming met theoretische resultaten verkregen door andere onderzoekers. In figuur 3.4.7 is een vergelijking gemaakt met experimentele resultaten (experimenten volgens figuur 3.4.6). De theoretische resultaten zijn voor wrijvingsloze condities. Er is een vrij goede overeenstemming tussen theorie en experimenten.

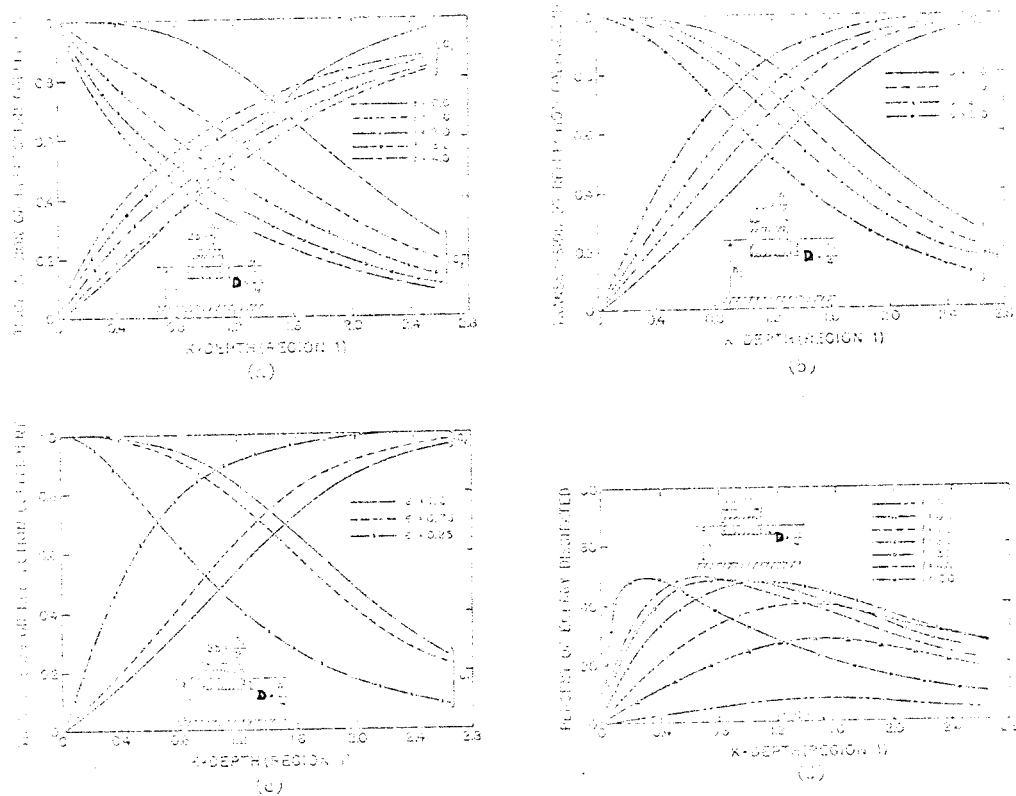


Fig. 3.4.3. Afhangelijkheid van C_t , van wrijving (a), traagheid (b) en porositeit (c) en de relatie tussen wrijving en dissipatie (d)

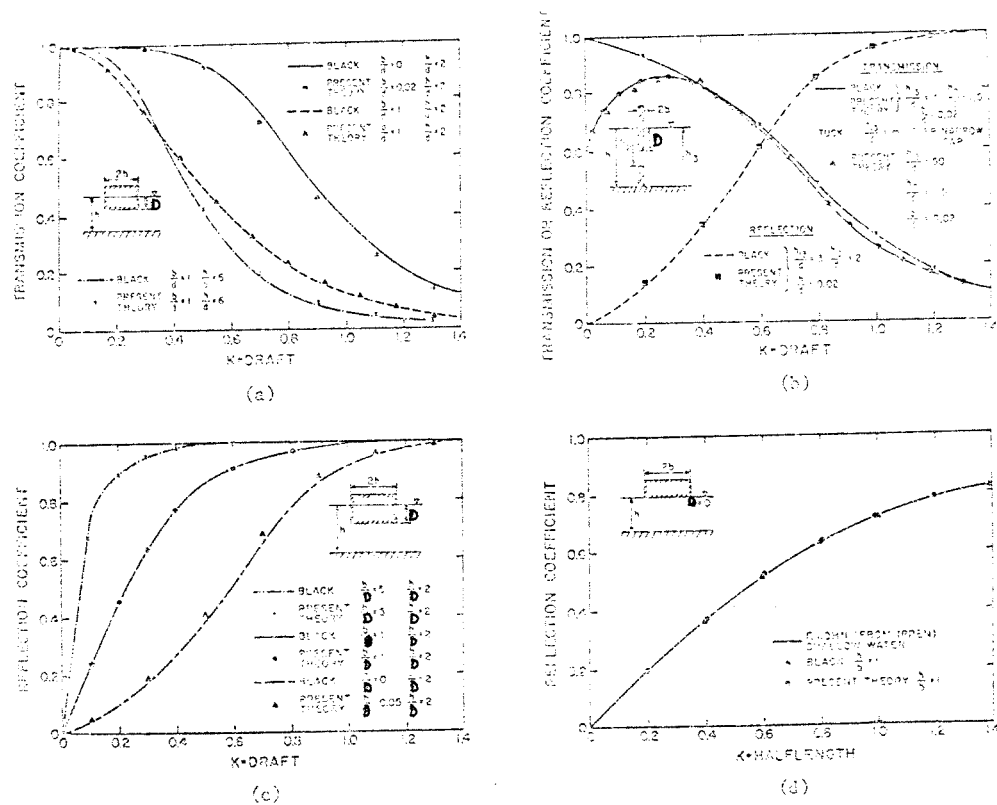
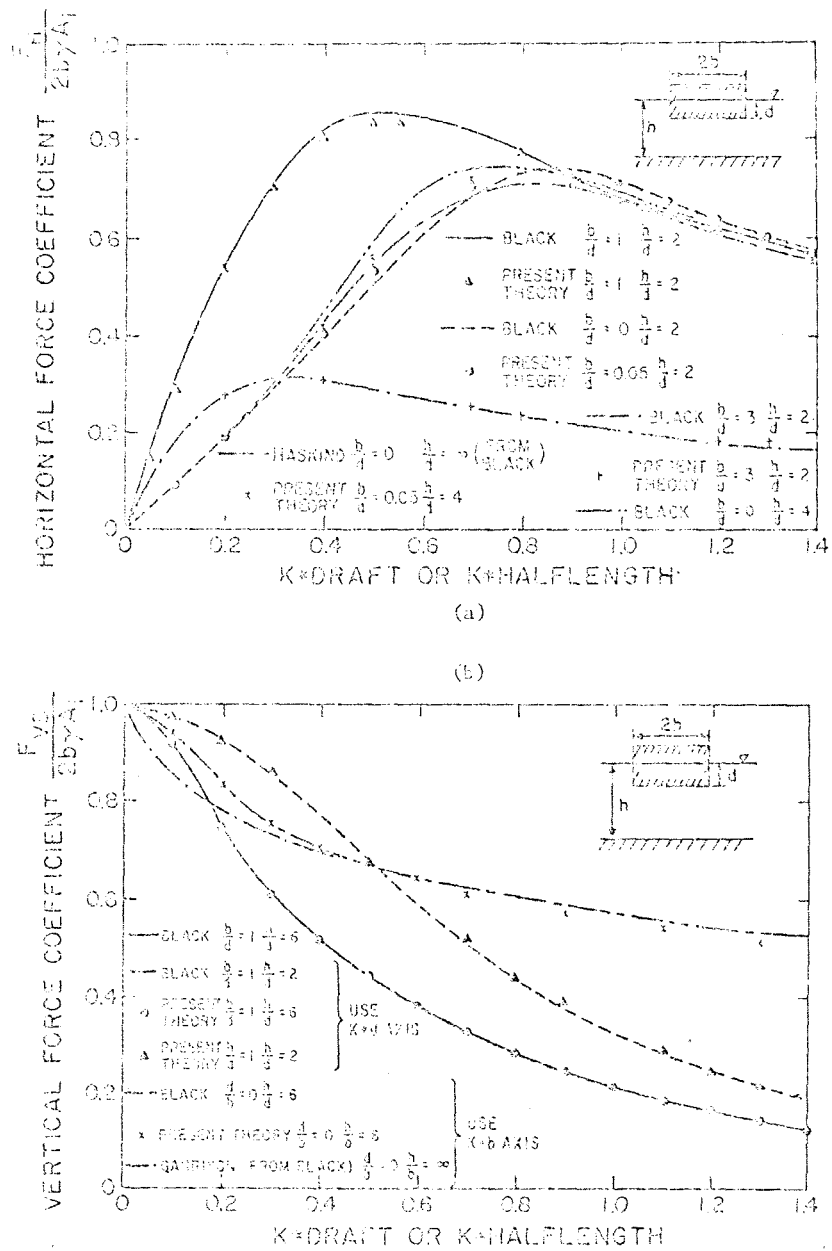
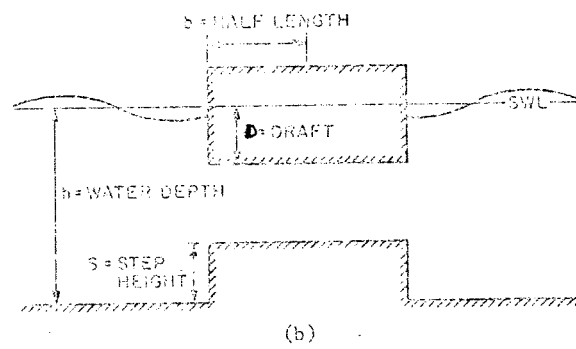
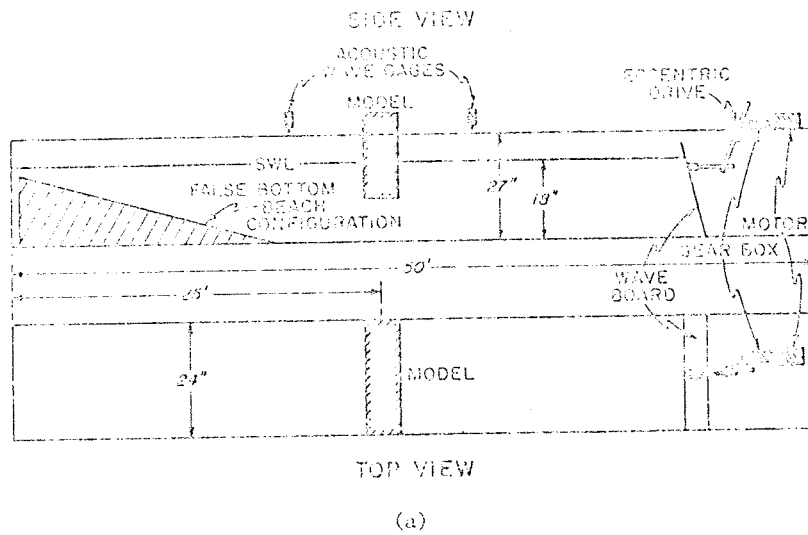


Fig. 3.4.4. C_t bepaald m.b.v. een aantal theoriën





RUN #	b(in.)	S(in.)	h(in.)	D(in.)
1	4	0	18	3 1/3
2	4	0	13	6
3	4	0	13	2 3/4
4	4	8 1/4	13	2 3/4
5	4	5 1/4	13	5 1/2
6	4	3 1/4	19	0
7	4	0	18	0

Fig. 3.4.6. Proefopstelling

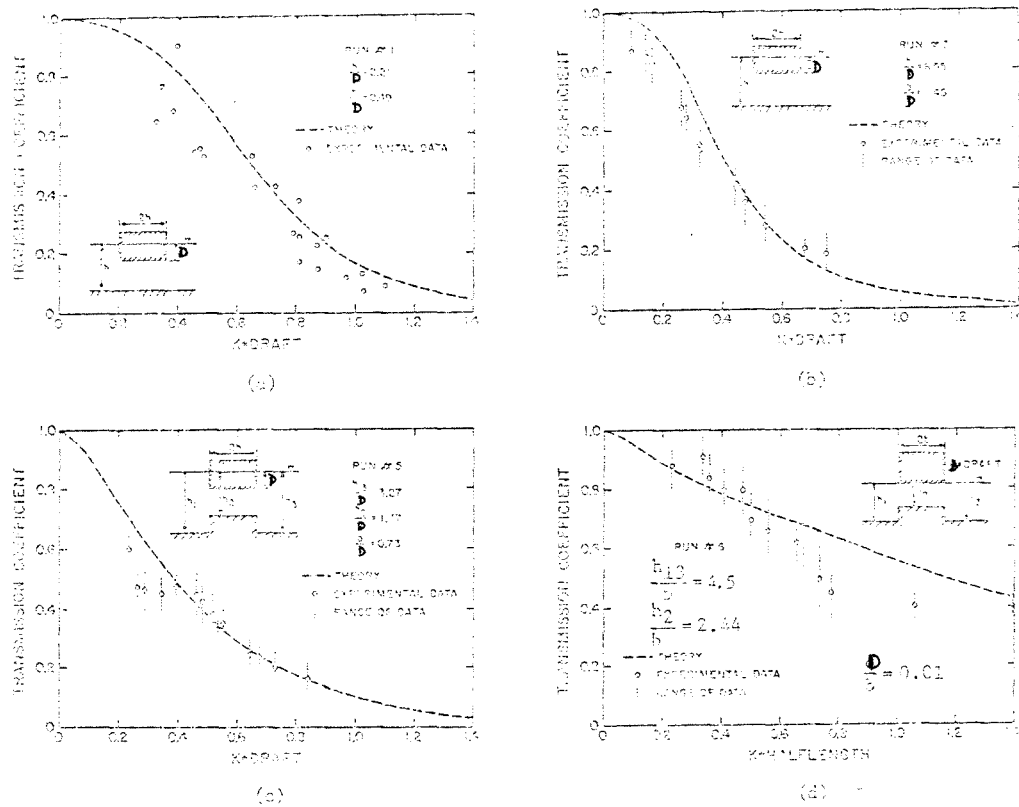


Fig. 3.4.7. Theoretische en experimentele transmissiecoëfficiënten

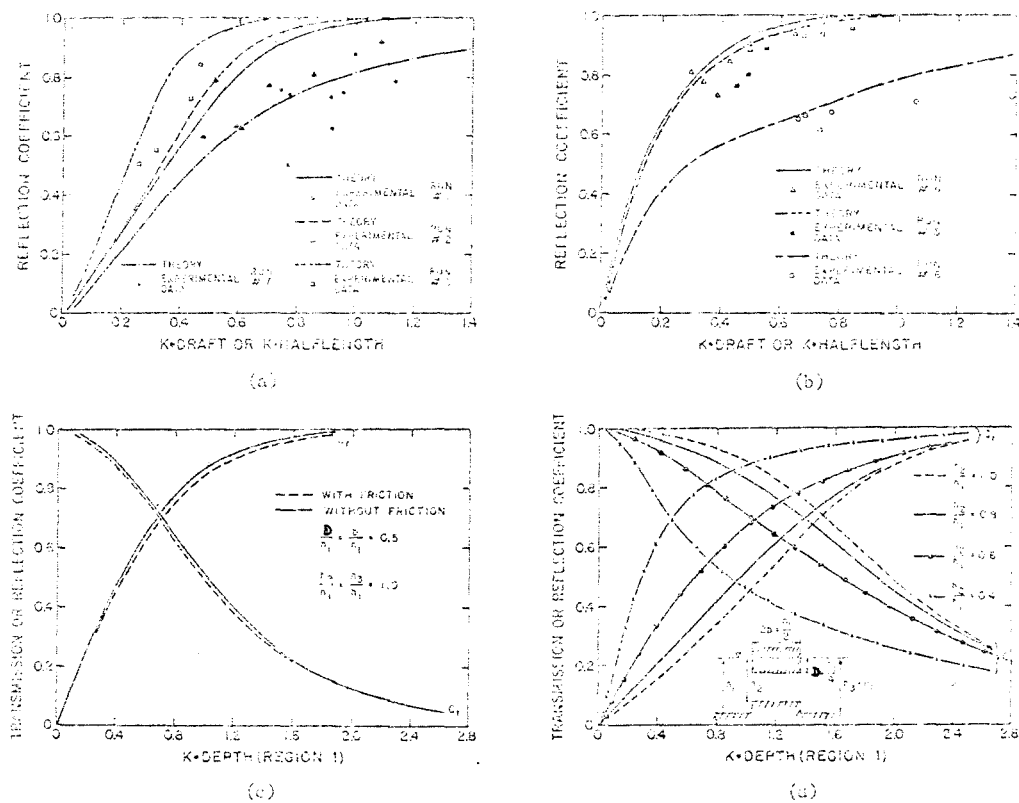


Fig. 3.4.8. Theoretische en experimentele reflectiecoëfficiënten

In de figuren 3.4.7a t/m c is er een kleine theoretische overschatting voor de transmissiecoëfficiënt. Dit komt door het niet meenemen van de wrijving in de berekeningen. In figuur 3.4.7 treedt voor lange golven een zekere onderschatting van de transmissiecoëfficiënt op. Dat komt doordat in werkelijkheid, tijdens het passeren van een golfdal, geen contact is tussen wateroppervlak en onderkant object (diepgang = 0). Het theoretische model staat deze loslating niet toe.

Uit de figuren 3.4.8a en b blijkt dat de reflectiecoëfficiënt iets wordt overschat. Uit figuur 3.4.8c volgt dat de overschatting van de transmissie- en de reflectiecoëfficiënt deels te wijten is aan het verwaarlozen van wrijving.

In figuur 3.4.8d zijn nog een aantal ontwerpkrommen weergegeven.

Als objecten kunnen bewegen in het water hebben hun bewegingen invloed op de golfdemping. Met name de eigen trillingsperiode van de objecten speelt daarin een grote rol.

De respons van een drijvend (rechthoekig) object op de golfbeweging is weergegeven in figuur 3.4.9.

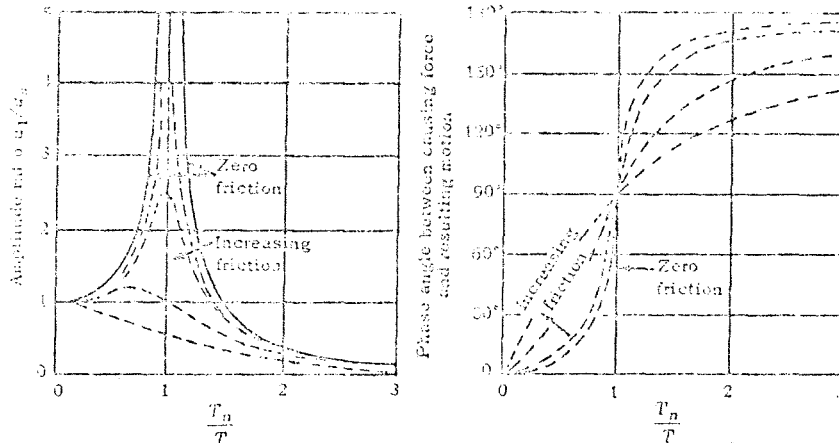


Fig. 3.4.9. Respons en faseverschuiving van een massaveersysteem

Twee dingen vallen op in figuur 3.4.9:

- Bij $T_N/T = 1$ treedt een forse vergroting van de beweging op (in geval van weinig of geen demping).
- Bij $T_N/T = 1$ verandert de fasehoek tussen aandrijvende kracht en resulterende beweging snel van 0° naar 180° .

T_N = eigentrillingsperiode van het object, T = golfperiode.

Ippen [1966] heeft een vergelijking gemaakt tussen gedrag van vaste en van verankerde rechthoekige objecten (figuur 3.4.10).

De reflectiecoëfficiënt van een drijvend object is voor golven met een trillingsperiode in de buurt van de eigentrillingsperiode van het object groter dan van een vergelijkbaar vast object. Dit strookt met wat al eerder gevonden was bij een vergelijking tussen vaste en drijvende cilinders. De oorzaak van de hogere reflectiecoëfficiënt, dan wel lagere transmissiecoëfficiënt, ligt in het feit dat de getransmitteerde golf opgebouwd is uit 2 componenten:

- dat deel van de inkomende golf dat onder het object wordt doorgegeven, en
- de door de bewegingen van het object opgewekte golf.

Als $T_N/T < 1$, dan zijn de 2-componenten in fase en kunnen ze worden opgesteld, met als resultaat een grote transmissiecoëfficiënt en een kleine reflectiecoëfficiënt. In de buurt van $T = T_N$ treedt een faseverschuiving van 180° op in de beweging van het object t.o.v. de golfbeweging. De 2-componenten verzwakken elkaar. De transmissiecoëfficiënt wordt klein en de reflectiecoëfficiënt groot. Voor $T_N/T > 1$ (ofwel als de golflengte relatief klein wordt), wordt de getransmitteerde golf vnl. gegenereerd door de bewegingen van het object.

In figuur 3.4.11 zijn de horizontale krachtcomponenten weergegeven voor dezelfde 2 rechthoekige drijvende objecten (Ippen [1966]). Er is een vergelijking gemaakt met de krachten in een verankerde cilinder.

Uiteraard heeft de vorm van het object invloed op de krachten. Toch is te zien dat in de buurt van het maximum (bij $T_N/T = 1$) de grootte van de krachtcomponenten voor drijvende objecten een orde van 10 kleiner is dan voor vaste objecten (Opm.: de krachten zijn maximaal voor $T_N \approx T$).

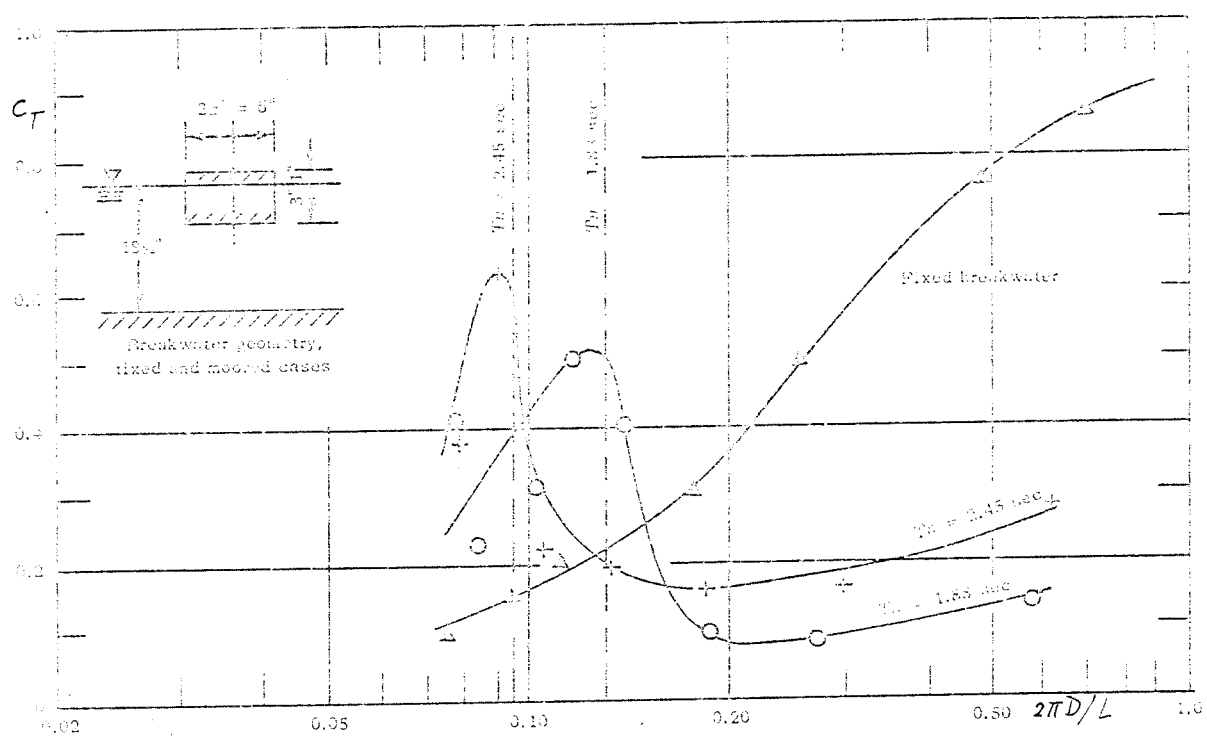


Fig. 3.4.10. Reflectiecoëfficiënten van vaste en verankerde objecten

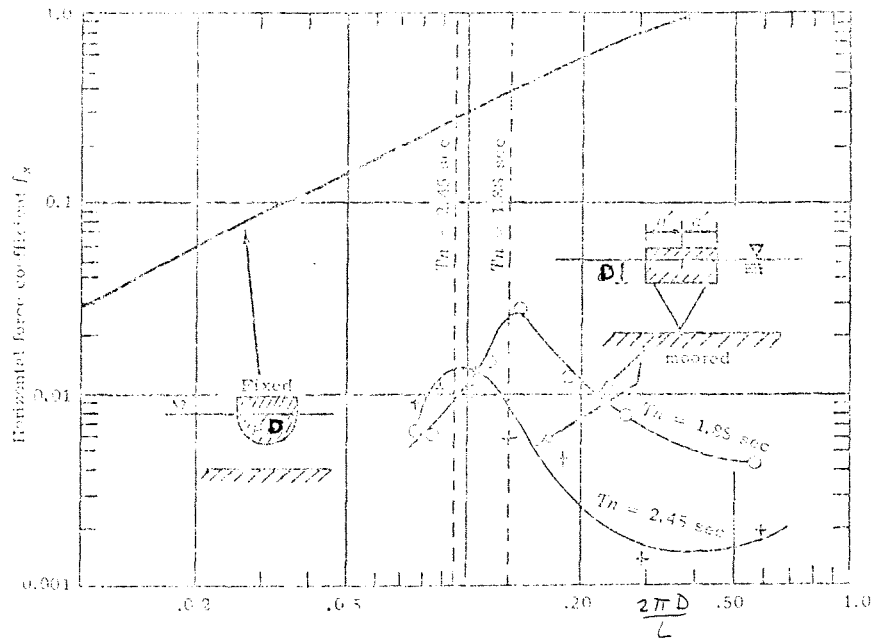


Fig. 3.4.11. Horizontale krachtcomponent van een vast en een drijvend object

Kato, Hagino en Uekita [1966] hebben onderzoek gedaan naar de invloed van de vorm van de doorsnede van drijvende objecten op de transmissiecoëfficiënt. Zij hebben vooral bekeken wat de invloed van de vorm (fig. 3.4.12) is op het rollen van het object. Zoals wij hiervoor gezien hebben, speelt die beweging bij $T_N/T = 1$ een belangrijke rol in het dempen van golven.

In figuur 3.4.13 zijn hun metingen weergegeven, evenals een theoretische kromme voor een vast rechthoekig object. Hun conclusies zijn:

De tegengestelde rolbeweging (tegengesteld aan de golfbeweging) in de buurt van $T_N = T$ geeft een goede golfdemping. Met name de omgekeerde trapezoïde, die goed kan rollen, geeft daarom uitstekende resultaten. De rechthoek en de trapezoïde rollen minder gemakkelijk en geven daarom minder demping. Het driehoekige object beweegt erg gemakkelijk in de golven voor alle vrijheidsgraden. Verzetten en deinen hebben daardoor, naast rollen, ook een grote invloed op de transmissie. In het algemeen heeft deze vorm niet zulke goede golfdempende eigenschappen.

Kato heeft alleen de rolbewegingen van het object bekeken. Andere onderzoekers hebben ook de andere bewegingsmogelijkheden in hun onderzoek betrokken.

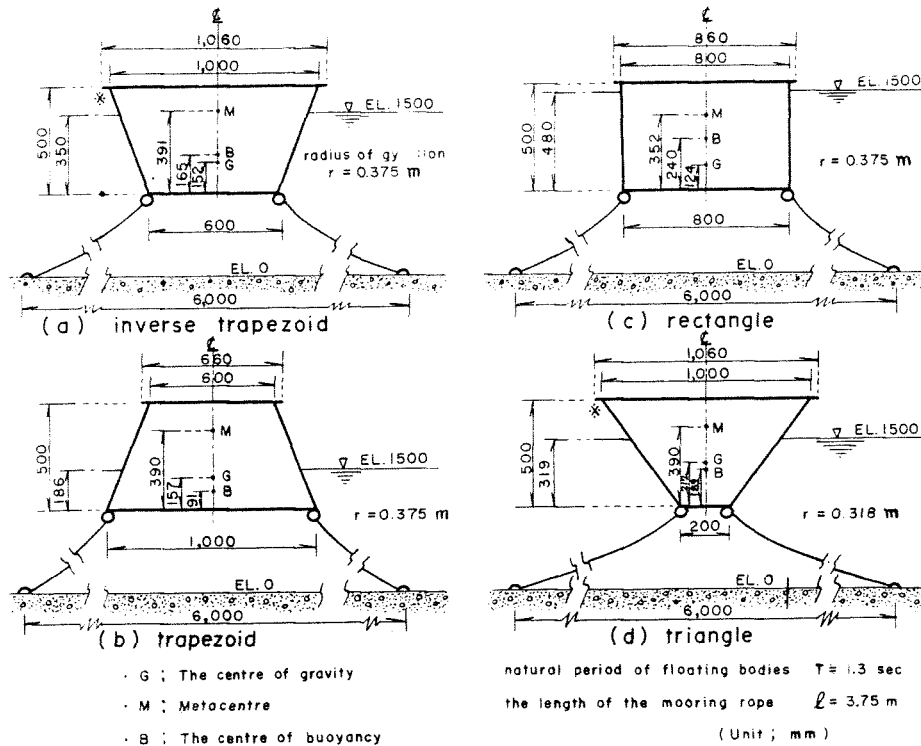


Fig. 3.4.12. Een viertal drijvende golfdempende constructies

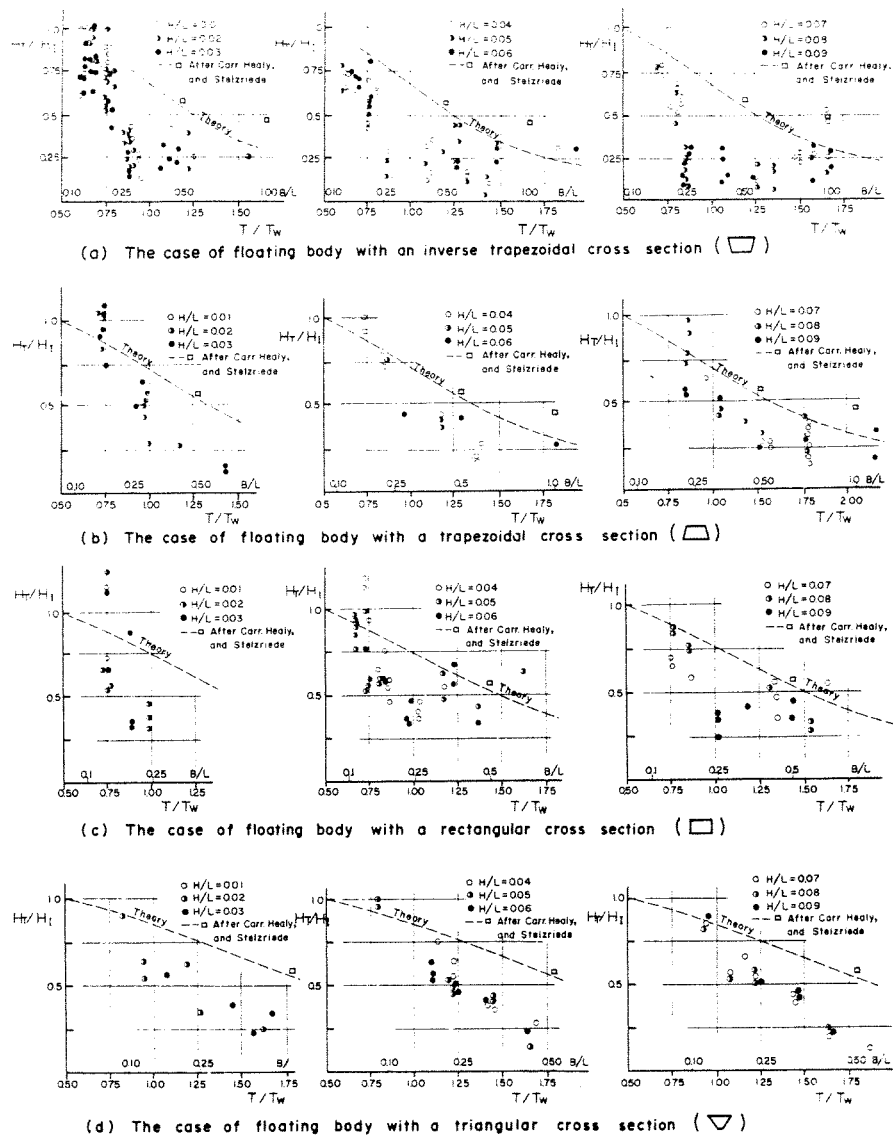


Fig. 3.4.13. Transmissiecoëfficiënt als functie van de relatieve trillingstijd (of B/L)

Adee en Martin [1974] gebruiken een theoretisch model voor het voorspellen van de getransmitteerde en gereflecteerde golven voor een rechthoekige drijvende golfbreker. Zij bekijken zowel het rollen, als het deinen en het verzetten. Hun model is een gelineariseerd, niet visceus, diepwater model, voor 2-dimensionale problemen.

Experimenten (Nece en Richey [1972]) en theoretische resultaten zijn weergegeven in de figuren 3.4.15 t/m 3.4.17. De gebruikte configuratie is weergegeven in figuur 3.4.14. De theoretische kromme is voor de drie gevallen hetzelfde omdat wordt uitgegaan van diepwater condities. De ankerkrachten worden verwaarloosd. Er is een goede overeenstemming tussen theorie en experimenten. Het theoretische minimum bij $B/L = 0,2$ is kleiner dan het experimentele; en de transmissie van korte golven is wat kleiner dan voorspeld.

Een nadere beschouwing van de details van de theoretische oplossing maakt het gedrag van de rechthoekige drijvende objecten duidelijker. In figuur 3.4.18 zijn de amplituden en fasen van de getransmitteerde golf weergegeven. Erg lange inkomende golven ondervinden nauwelijks damping of faseverschuiving. Het gedrag komt dan min of meer overeen met het gedrag van een vast lichaam.

Dit rechthoekige object blijkt door zijn rolbeweging nauwelijks golven op te wekken. Dat is gunstig, omdat de lineaire theorie de visceuze damping van de rolbeweging niet meeneemt en daardoor in het algemeen de invloed van het rollen overschat.

Voor dit object zijn vooral deinen en verzetten van belang voor de golftransmissie. Het blijkt dat het minimum in de kromme van de totale transmissiecoëfficiënt veroorzaakt wordt door een bijna gehele opheffing van de vast-lichaam component en de component van het verzetten, door de deincomponent. Dit komt vooral door de grote faseverschuiving van de deincomponent in de buurt van $B/L = 0,2$. Voor inkomende korte golven ontstaat de transmissie vooral door het verzetten van het object, voor lange golven gedraagt het object zich als een vast object.

In figuur 3.4.19 is de respons van het object op de golfbewegingen weergegeven. Er is een piek bij $B/L = 0,175$ voor het deinen. Het deinen neemt snel af voor kortere golven. De rolbeweging is klein. In deze

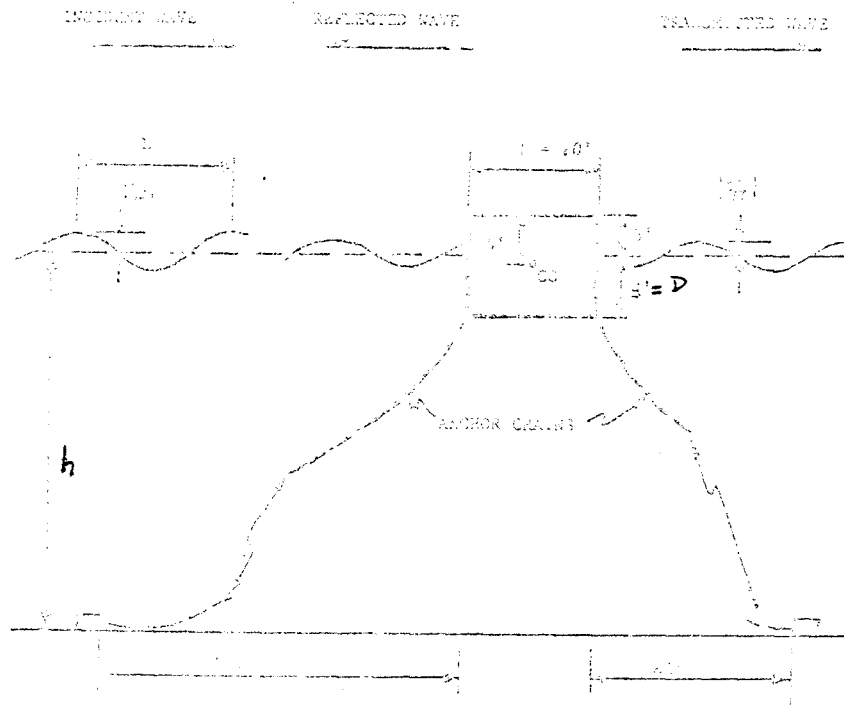
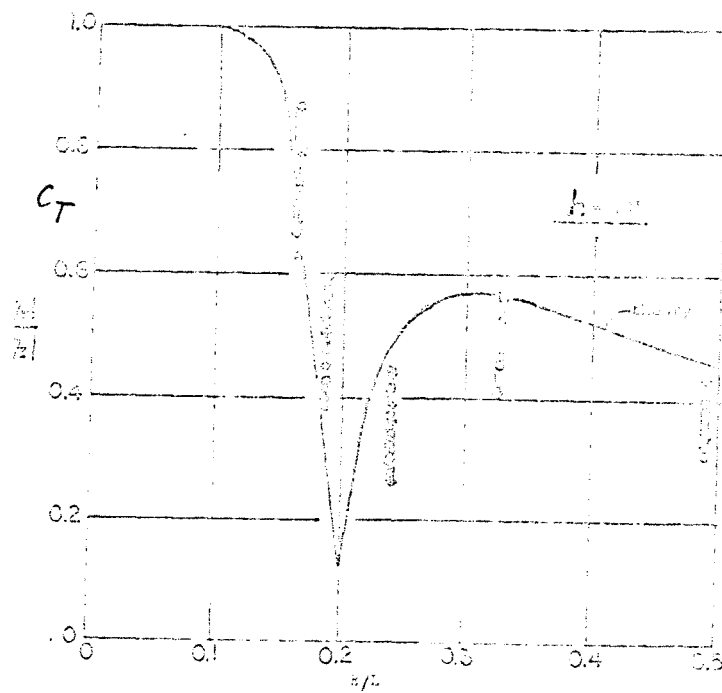


Fig. 3.4.14. Proefopstelling

Fig. 3.4.15. C_T als functie van B/L voor $h = 48'$

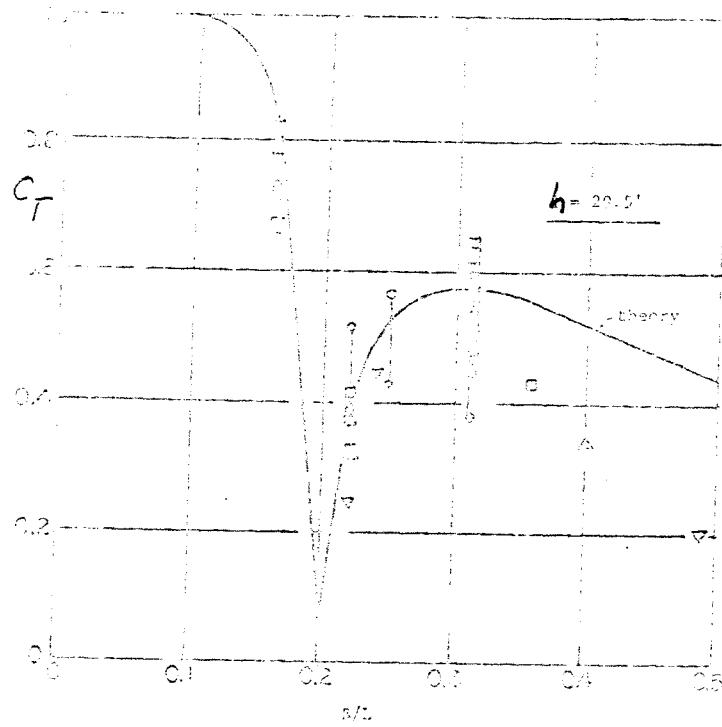


Fig. 3.4.16. C_T als functie van B/L voor $h = 29,5'$

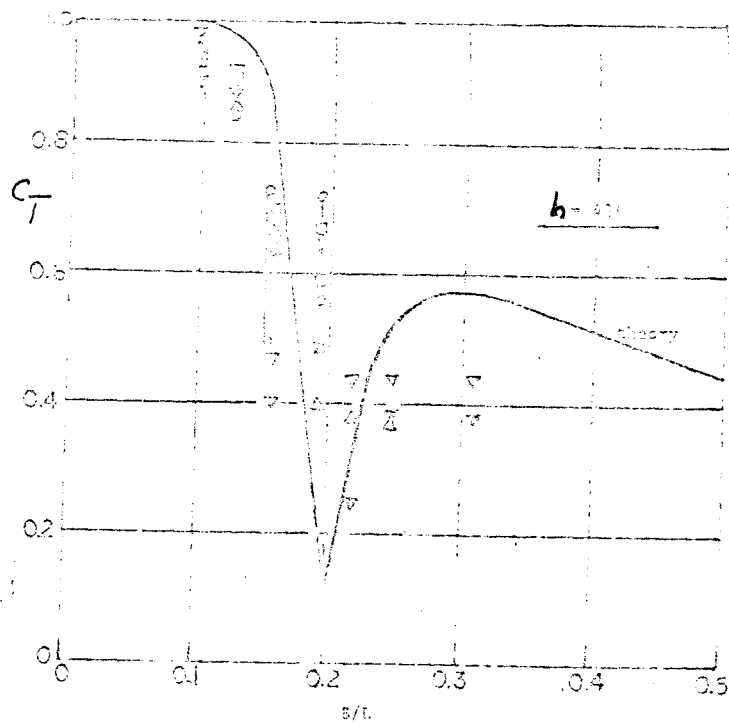


Fig 3.4.17. C_T als functie van B/L voor $h = 48'$

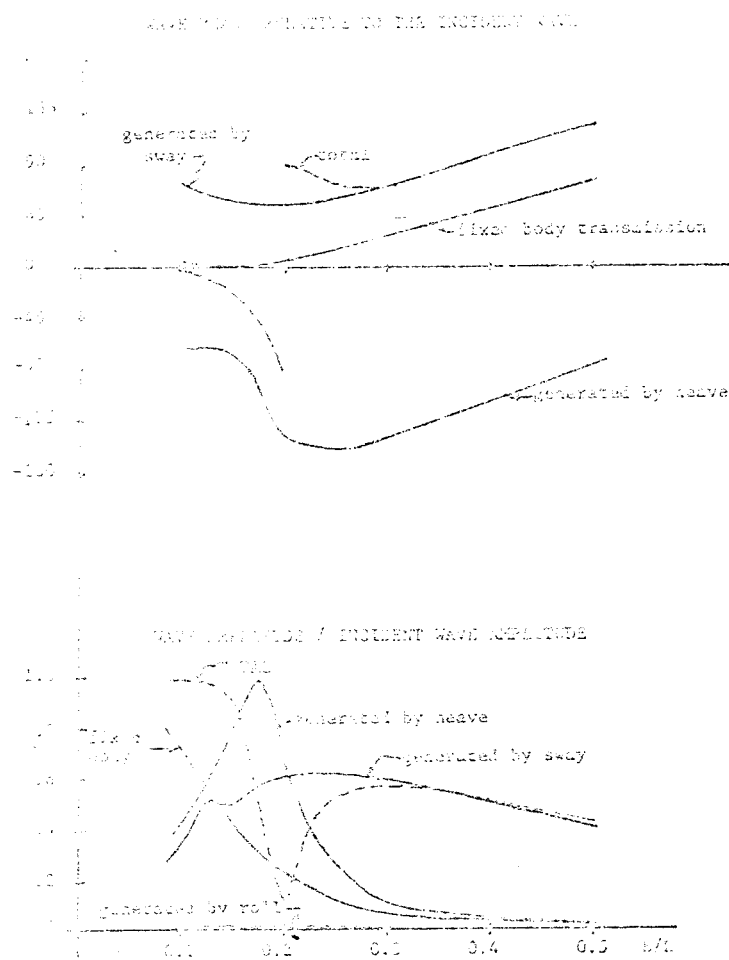


Fig. 3.4.18. Componenten van de getransmitteerde golven

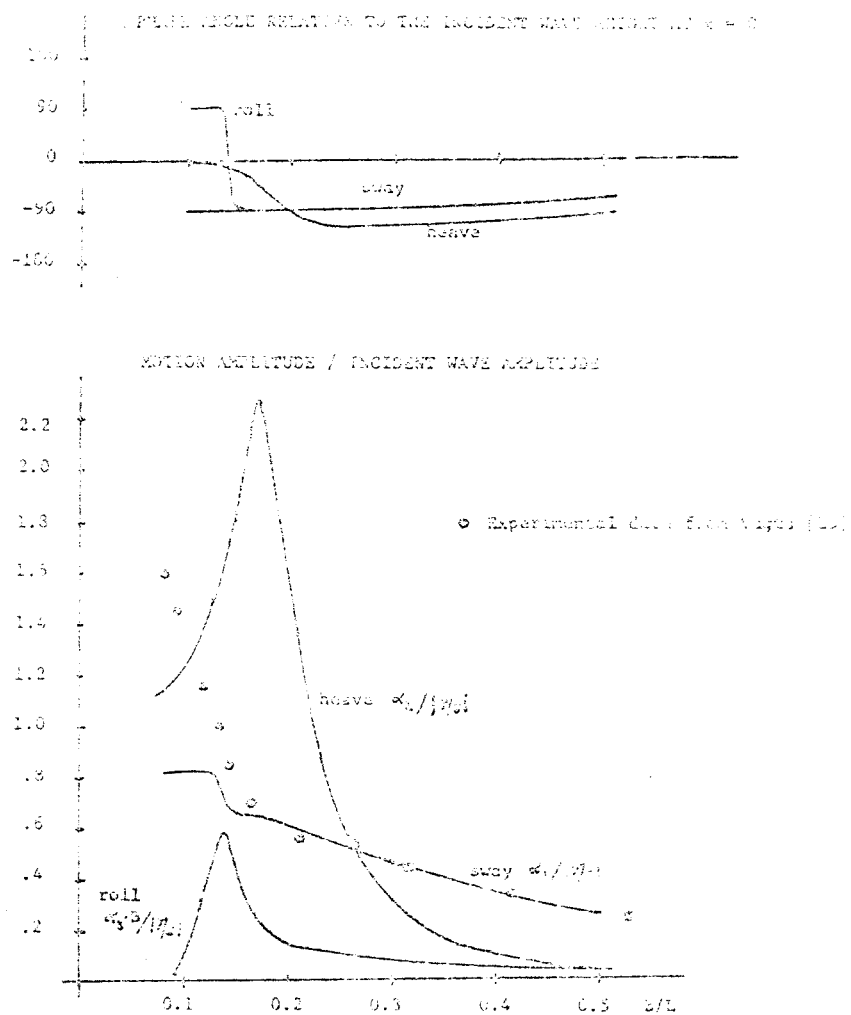


Fig. 3.4.19. Bewegingsrespons van de drijvende constructie

figuur zijn ook metingen van Vughts [1968] voor verzetten weergegeven. Voor $B/L > \text{ca. } 0,2$ is er een goede overeenstemming. Voor kleinere B/L treden afwijkingen op t.g.v. ondiep water effecten.

Omdat de golven de bodem gaan voelen, veranderen de banen van de waterdeeltjes. Het worden ellipsen. De horizontale beweging wordt groter t.o.v. de verticale beweging. Het verzetten wordt daardoor belangrijker en het deinen minder belangrijk.

Sutko en Haden [1974] hebben laboratoriumonderzoek gedaan naar de transmissiecoëfficiënt voor rechthoekige drijvende objecten. Zij hebben zich geconcentreerd op de invloed van de bewegingsrichting van de objecten op C_T .

In figuur 3.4.21 is hun proefopstelling weergegeven. Figuur 3.4.20 laat zien hoe zij met bevestigingsplaten sommige bewegingen van het object verhinderen en andere bewegingen toelaten. Plaat 1 laat alleen rollen toe; plaat 2 laat rollen en deinen toe; plaat 3 laat rollen en verzetten toe; plaat 4 laat geen beweging toe (vast object); plaat 5 laat, met bovendien toepassingen van 2 verticale stangen, deinen en verzetten toe. Verder worden in enkele gevallen horizontale ankerdraden toegepast (horizontaal mooring).

Resultaten zijn weergegeven in de figuren 3.4.22 t/m 3.4.34. In die figuren moet voor surge (= schrikken) en pitch (= stampen) gelezen worden sway (= verzetten), respectievelijk roll (= rollen). In het betreffende artikel is nl. een andere oriëntatie van het assenstelsel gekozen dan te doen gebruikelijk.

De golfperiodes waarbij zij metingen hebben verricht zijn:

$$\left. \begin{array}{l} T = 0,35 \text{ s} \\ T = 0,45 \text{ s} \end{array} \right\} \text{diep water condities}$$

$$T = 0,55 \text{ s} - \text{overgangsgebied tussen diep water en water met een gemiddelde diepte}$$

$$\left. \begin{array}{l} T = 0,70 \text{ s} \\ T = 0,85 \text{ s} \end{array} \right\} \text{gemiddelde waterdiepte}$$

Uit hun tests blijkt, dat de primaire bijdrage aan de golftransmissie wordt geleverd door het verzetten van het object. De mate van golfdamping hangt daardoor sterk af van het al dan niet beperken van deze beweging. In ondiep water zal dat beter kunnen dan in diep water.

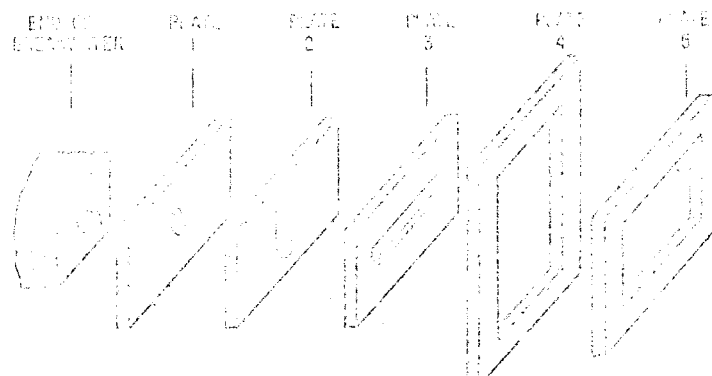


Fig. 3.4.20. Eindplaten A

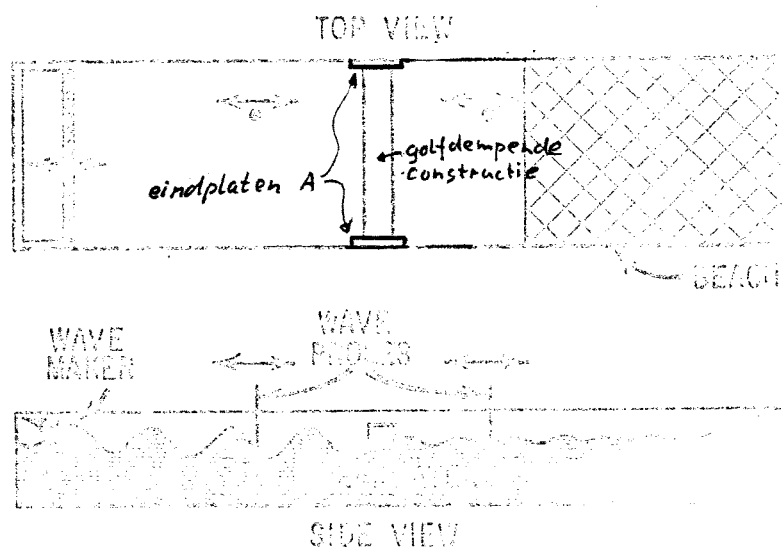
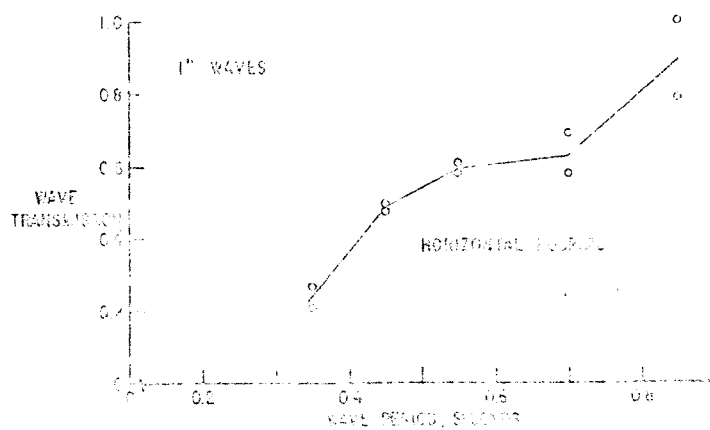


Fig. 3.4.21. Proefopstelling

Fig. 3.4.22. C_t als functie van de golfperiode

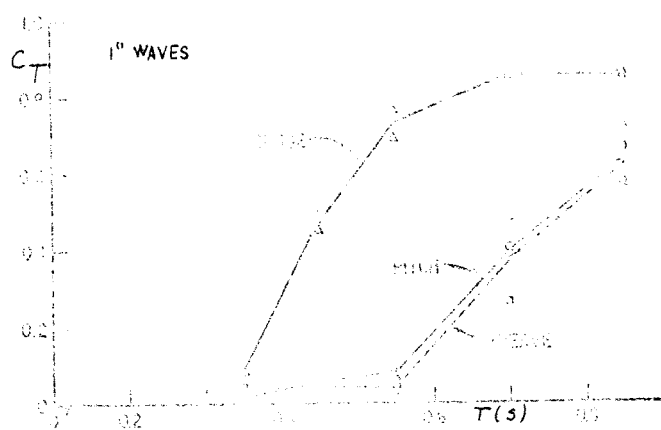


Fig. 3.4.23. Transmissie bij toelaten van één bewegingsvrijheidsgraad.

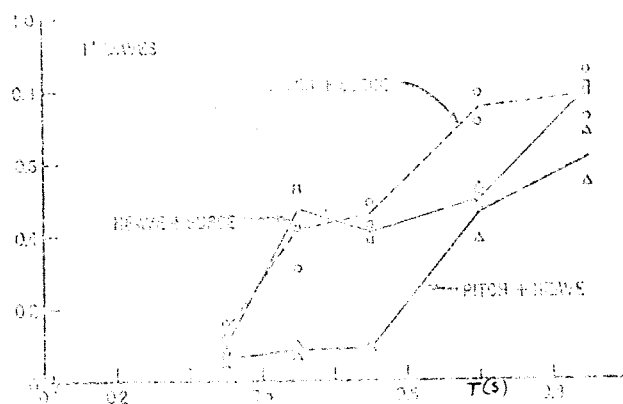


Fig. 3.4.24. Transmissie bij toelating van twee bewegingsvrijheidsgraden.

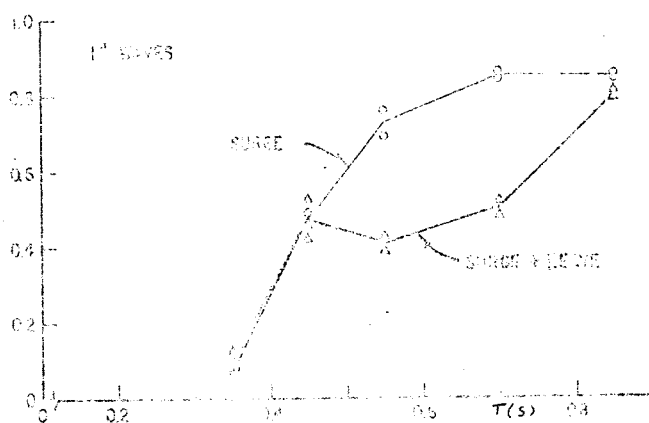


Fig. 3.4.25. Transmissie bij schrikken en schrikken + deinen.

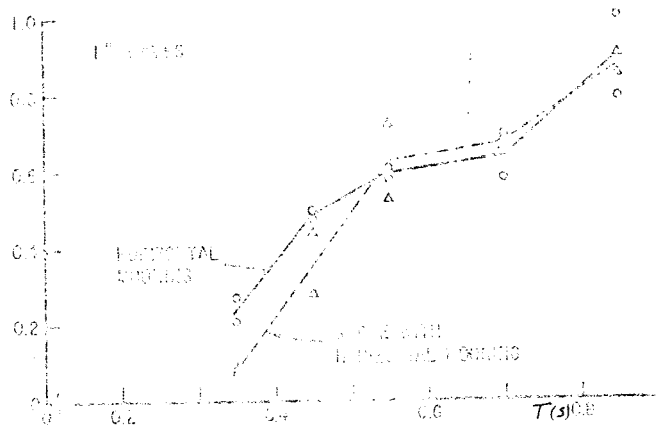


Fig. 3.4.26. Vergelijking transmissie bij normale horizontale verankering en bij horizontale verankering met "verzitten".

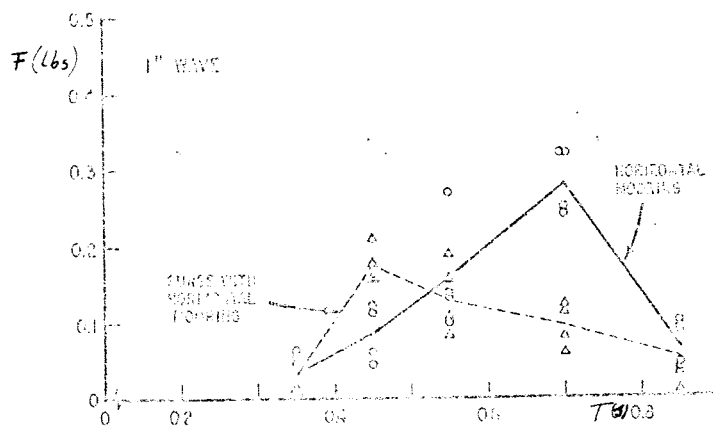


Fig. 3.4.27. Vergelijking verankeringskracht bij normale horizontale verankering en bij horizontale verankering met "verzitten".

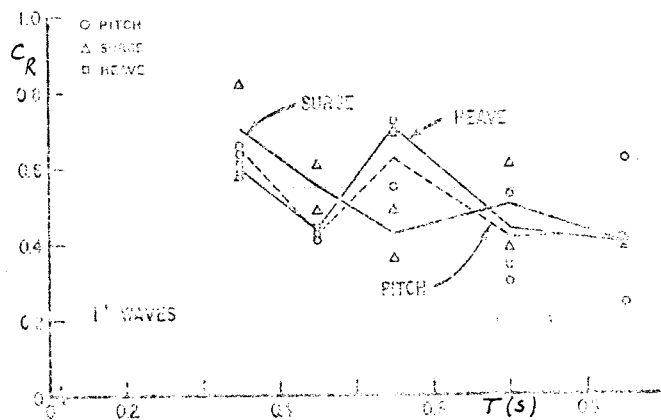


Fig. 3.4.28. Reflectie bij toelaten van één vrijheidsgraad.

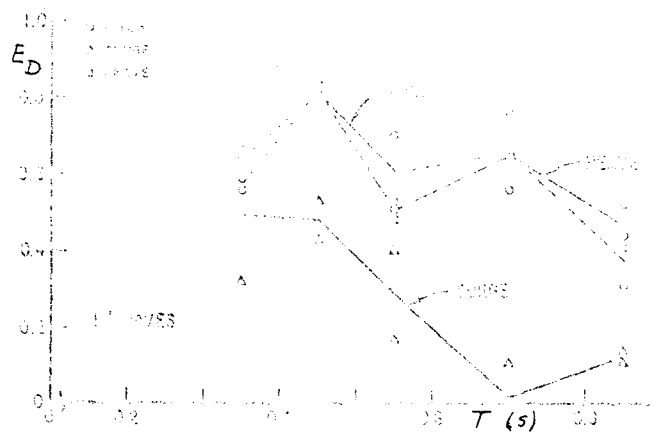


Fig. 3.4.29. Energiedissipatie bij één vrijheidsgraad.

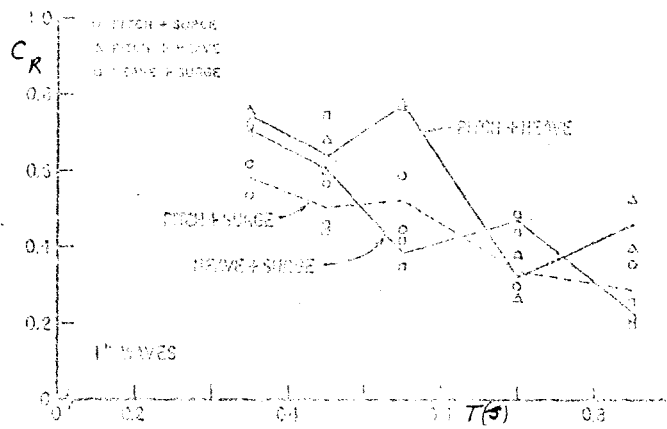


Fig. 3.4.30. Reflectie bij twee vrijheidsgraden.

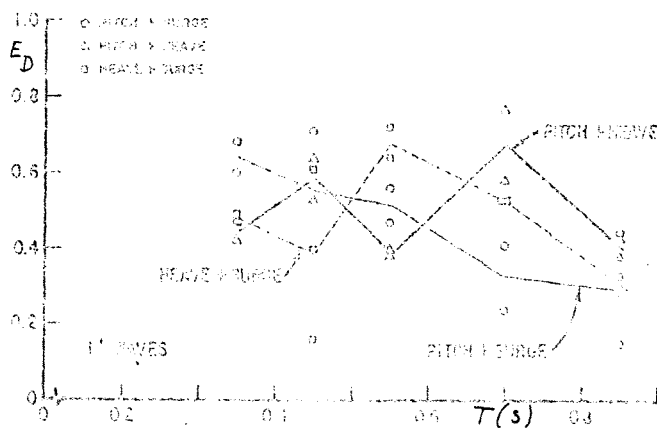


Fig. 3.4.31. Energiedissipatie bij twee vrijheidsgraden.

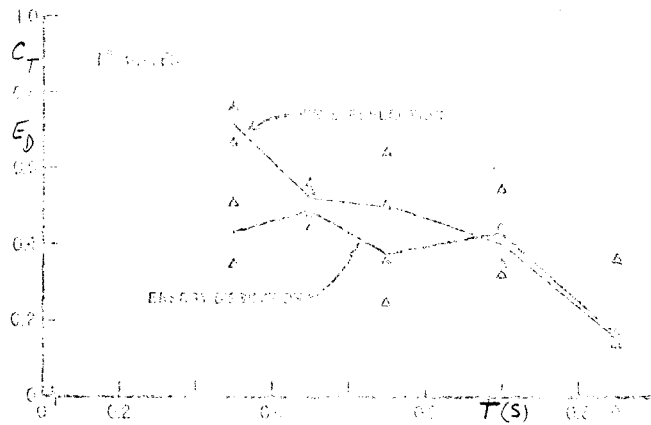


Fig. 3.4.32. Reflectie en dissipatie bij horizontale verankering

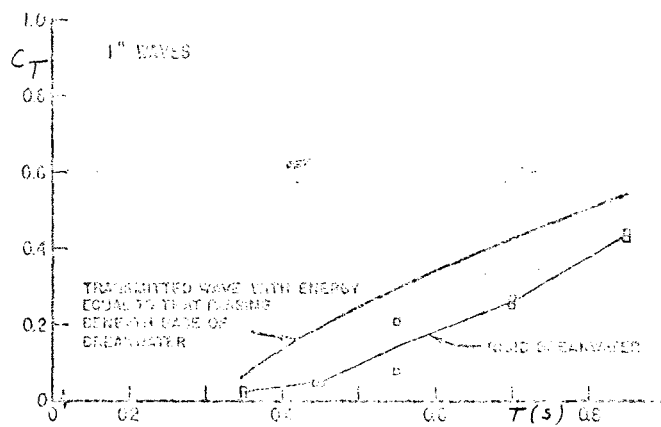


Fig. 3.4.33. Transmissie bij een vaste constructie.

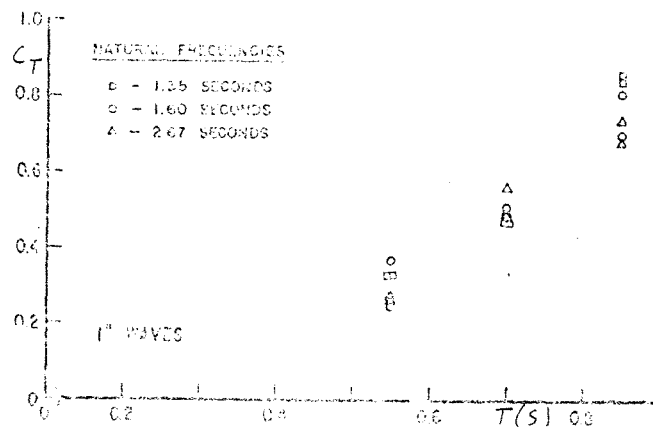


Fig. 3.4.34. Effect van eigenfrequentie (rollen) op de transmissie

Rollen en deinen dragen weinig bij aan de golftransmissie. Het is daarom beter, uit het oogpunt van op te nemen ankerkrachten, deze bewegingen zo min mogelijk te verhinderen. Dat is mogelijk door de verankering aan te laten grijpen bij de rol-as en door zo min mogelijk verticale "weerstand" in te bouwen (ankerdraden meer horizontaal dan verticaal aan laten grijpen). Verder blijkt dat er geen groot verschil is tussen deinen, rollen en verzetten in de bijdrage aan de reflectie van de golven. Dat houdt in dat de verschillen in golftransmissie vooral veroorzaakt worden door verschillen in energiedissipatie. Bij verzetten is de dissipatie geringer dan bij deinen en rollen. Voor een vast lichaam of voor een lichaam dat alleen kan rollen of deinen gaat minder energie onder het lichaam door dan theoretisch verwacht zou worden. Een verlaagde transmissie gaat verder gepaard met hogere ankerkrachten.

In hoeverre zijn de resultaten van Sutko en Haden (S & H) nu in overeenstemming met bijvoorbeeld Adey en Martin (A & M). Om dat goed te kunnen beoordelen moeten de resultaten van S & H eigenlijk anders gepresenteerd worden. Hun resultaten zijn nl. uitgezet tegen de golfperiode, terwijl de resultaten van A & M zijn uitgezet tegen B/L . Daar komt nog bij dat L niet eenduidig evenredig is met T of T^2 :

diep water	: $L::T^2$	($L = 1,56 T^2$)
gemiddelde waterdiepte:	$L::T^\alpha$, $1 < \alpha < 2$	($L = gT^2/2\pi \tanh kd$, $k = 2\pi/L$)
ondiep water	: $L::T$	($L = T \sqrt{gh}$)

Een grafiek volgens S & H, zie figuur 3.4.35, ziet er bij A & M uit zoals in figuur 3.4.36 is aangegeven.

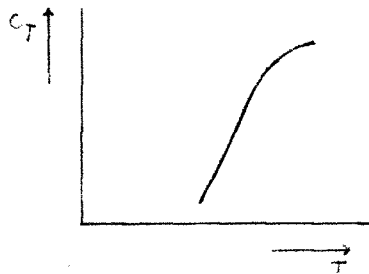


Fig. 3.4.35. C_t vs T .

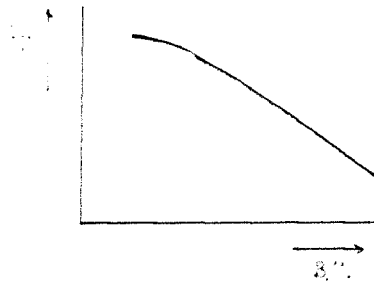


Fig. 3.4.36. C_t vs. B/L .

Voor de diepwater condities komen de resultaten van S & H ($T < \text{ca. } 0,5 \text{ s}$) goed overeen met die van A & M ($B/L > \text{ca. } 3$). Zie de figuren 3.4.23 resp. 3.4.18. De transmissie t.g.v. verzetten is dan een stuk groter dan t.g.v. rollen of deinen, terwijl de transmissie t.g.v. deinen en rollen van dezelfde grootte orde is.

Als de golven de bodem gaan voelen, gaat de diepwatertheorie van A & M steeds minder goed op. Dat bleek ook al uit de in figuur 3.4.19 weergegeven metingen van Vugths. Bij kleinere waterdiepten zorgt de relatieve toename van de horizontale beweging van de waterdeeltjes t.o.v. de verticale beweging (cirkels worden ellipsen) voor een grotere invloed van verzetten op de transmissiecoëfficiënt (en een kleinere invloed van deinen).

Het niet aanwezig zijn van een dal in de kromme van de transmissiecoëfficiënt bij S & H (bij A & M wel), komt doordat de eigenperiode van het drijvende object buiten het meetgebied ligt (de eigenperiode was groter dan de golfperiode waarbij metingen werden verricht).

Uit het voorgaande kan geconcludeerd worden, dat in het algemeen de golftransmissie vooral beïnvloed wordt door verzetten. Andere bewegingen hebben minder invloed. In diep water kan bij lange inkomende golven het deinen de overhand hebben.

3.5. Brede horizontale platen

In het voorgaande waren de verticale afmetingen van de objecten (veel) groter dan, of ongeveer gelijk aan de horizontale afmetingen. De objecten die nu aan de orde komen, hebben horizontale afmetingen die (veel) groter zijn dan de verticale.

Allereerst wordt een vaste horizontale plaat bekeken. In het hiervoor al behandelde onderzoek van Steimer en Sollitt [1978] komt dit geval ook aan de orde. In figuur 3.4.4d is voor één lengte/diepte verhouding de reflectiecoëfficiënt weergegeven. De resultaten komen goed overeen met de ook weergegeven resultaten van John [1949, 1950] en Black [1970]. Met name voor de kleinere golflengten worden goede golfdempende resultaten bereikt.

Het gedrag van drijvende platen is o.a. onderzocht door Brebner en Ofuya [1968]. In figuur 3.5.1 is de transmissiecoëfficiënt weergegeven voor een vlot. Er is een duidelijke overeenkomst met het verloop van de transmissiecoëfficiënt van drijvende cilinders en rechthoekige objecten: een dal in de kromme.

Ook Sendil en Graf [1974] hebben zich met dit probleem beziggehouden. Zij hebben proeven gedaan met een relatief dunne plaat multiplex. Reflectie tegen de voorkant van de plaat is daardoor verwaarloosbaar. Zij verwachtten dat met name de volgende parameters een belangrijke rol zouden spelen bij (drijvende) golfdempende constructies:

$$\frac{H_T}{H_I}, \frac{H_I}{L}, \frac{B}{L}, \frac{h}{L} \quad \left\{ \begin{array}{l} B = \text{plaatbreedte} \\ h = \text{waterdiepte} \\ L = \text{golflengte} \end{array} \right.$$

Zij vergelijken hun resultaten met de resultaten van andere onderzoekers. Eén en ander is weergegeven in de figuren 3.5.2 en 3.5.3.

De getrokken kromme in figuur 3.5.3 is van John [1949, 1950]. Hij kwam aan die kromme door theoretisch het effect van een oneindig dunne cilinder op inkomende golven te beschouwen.

De met John's formule berekende reflectiecoëfficiënten zijn kleiner dan die voor een vaste cilinder met dezelfde afmetingen.

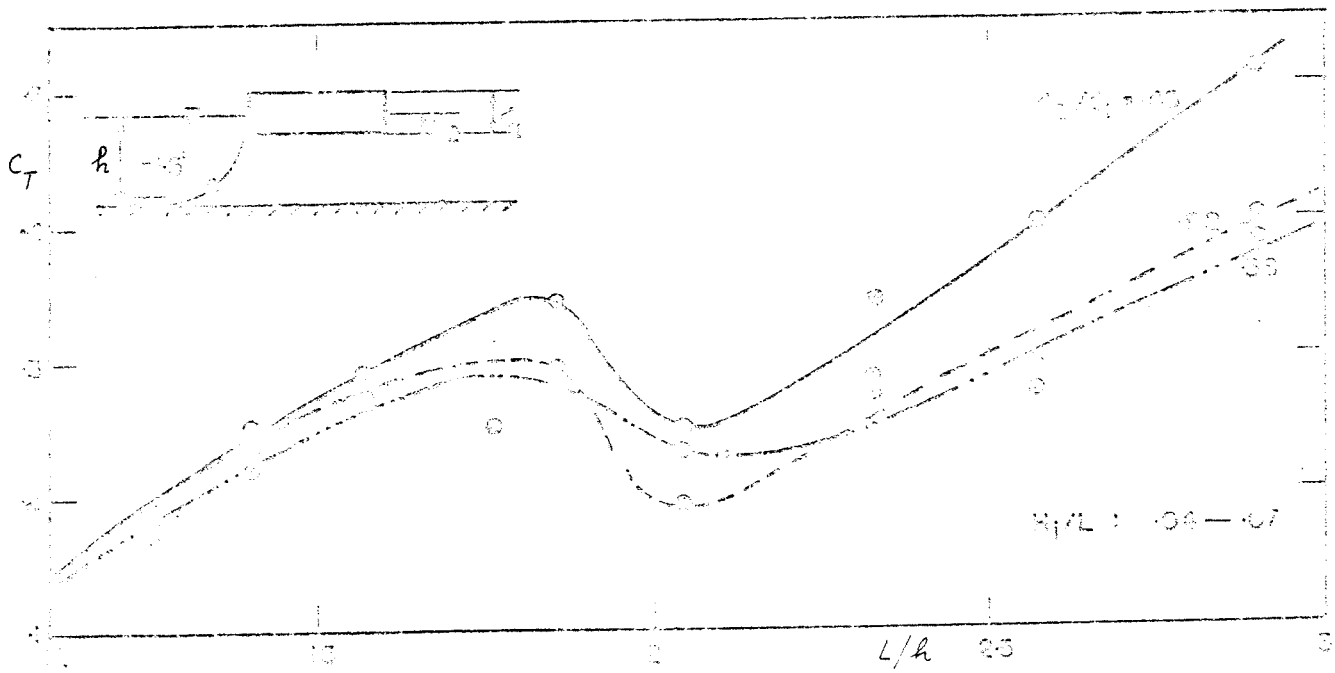


Fig. 3.5.1. Golfdemping van een ponton.

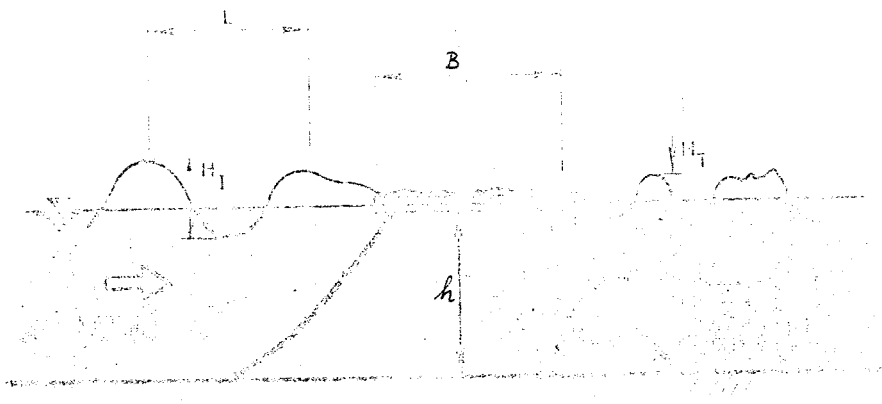


Fig. 3.5.2. Definitieschets voor regelmatige golven.

Uit figuur 3.5.3 blijkt dat er een redelijke overeenstemming is tussen de resultaten van John en de resultaten van andere onderzoekers.

In de figuur staan de resultaten van proeven met zowel materialen met een kleine massa en een grote elasticiteit als materialen met een grote massa en een kleine elasticiteit.

De C_T -waarden voor plastic en rubber liggen boven John's theoretische kromme en de C_T -waarden voor multiplex liggen eronder. Dat betekent dat zware, minder elastische materialen effectiever zijn in het dempen van golven dan lichte, meer elastische materialen.

Bij de beschouwing van de invloed van de parameters H_I/L , B/L en h/L op H_T/H_I vinden zijn het volgende:

Uit figuur 3.5.3, waar h/L als parameter is gebruikt, blijkt geen duidelijk verband tussen H_T/H_I en h/L . In het algemeen echter worden grote h/L verhoudingen in verband gebracht met grote B/L verhoudingen en kleine transmissiecoëfficiënten H_T/H_I , en omgekeerd.

De invloed van de golfsteilheid H_I/L is voor twee gevallen weergegeven in de figuren 3.5.4 en 3.5.5. α_1 is een correctiefactor: $H_T/H_I = \alpha_1 \cdot C_T$. Uit de figuren blijkt slechts een geringe invloed van de golfsteilheid op de transmissiecoëfficiënt.

Uit het bovenstaande wordt door Sendil en Graf geconcludeerd, dat H_T/H_I vooral afhankelijk is van de verhouding plaatlengte/golflengte $H_T/H_I = f(B/L)$. Ook John gaat hiervan uit in zijn theorie.

Uit eerdere onderzoeken concludeert Sendil [1973] dat een vaste plaat effectiever golven dempt dan een drijvende plaat met dezelfde dimensies. Tot die conclusie kwam ook John [1949], zie figuur 3.5.6.

Andere onderzoekers vinden een grotere invloed van h/L en H_I/L op de transmissiecoëfficiënt dan Sendil en Graf. Brebner en Ofuya vinden een duidelijke afname van C_T voor toenemende h/L (fig. 3.5.1). Dat is ook meer in overeenstemming met de bevindingen van Wiegel [1960] dat C_T voor verticale platen in ondiep water sterk beïnvloed wordt door de relatieve waterdiepte h/L . Ook Arunachalam en Raman [1980] vinden dat C_T afneemt voor toenemende h/L . Voor een door hun onderzochte drijvende

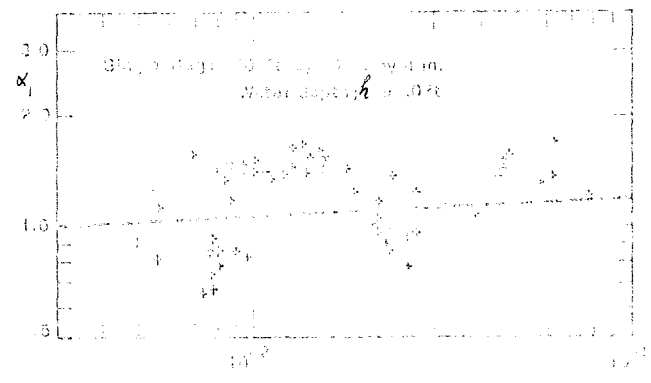


Fig. 3.5.3. Transmissiecoëfficiënt als functie van de relatieve plaatlengte B/L (drijvende plaat).

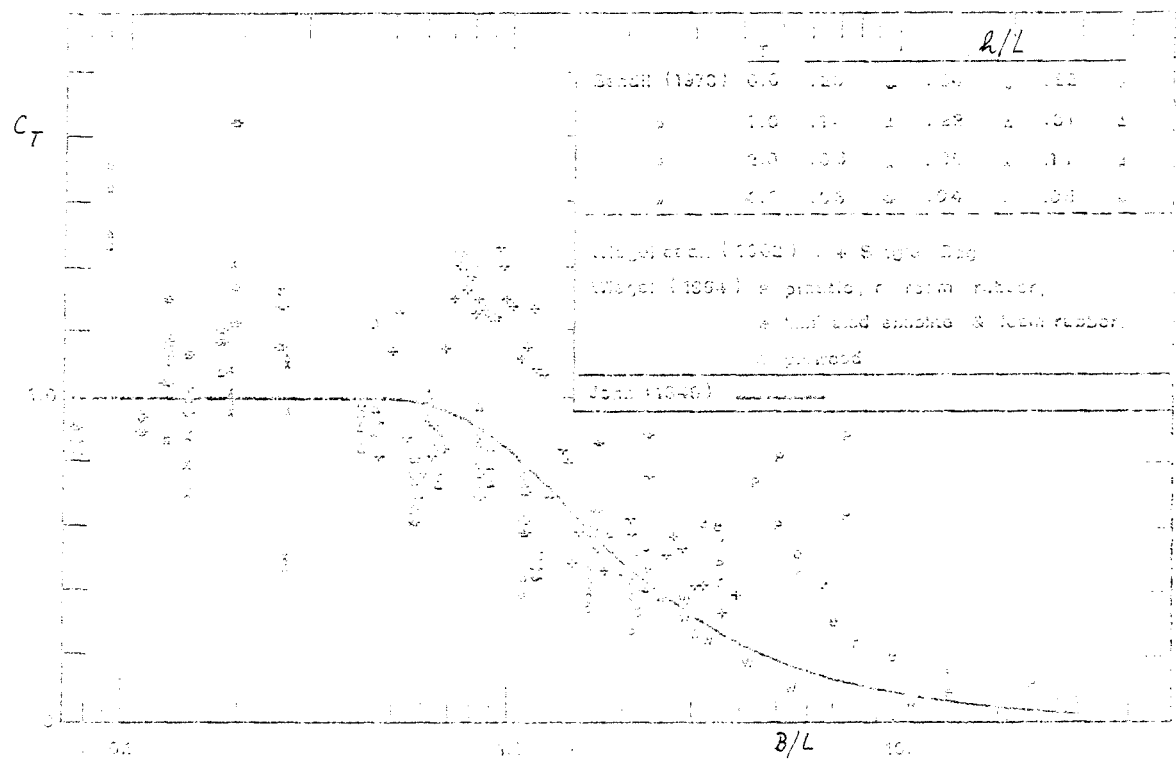


Fig. 3.5.4. α_1 als functie van H_I/L (drijvende plaat).

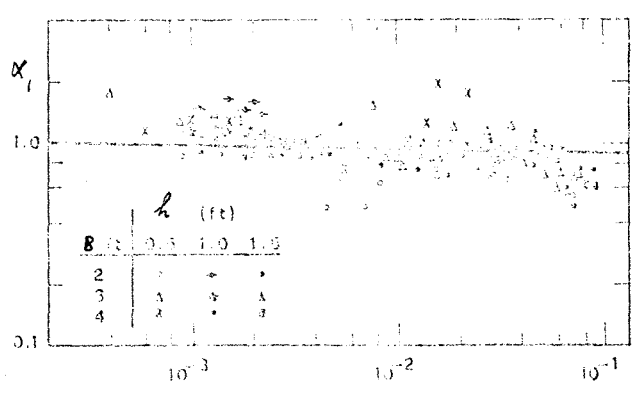


Fig. 3.5.5. α_1 als functie van H_I/L (drijvende plaat).

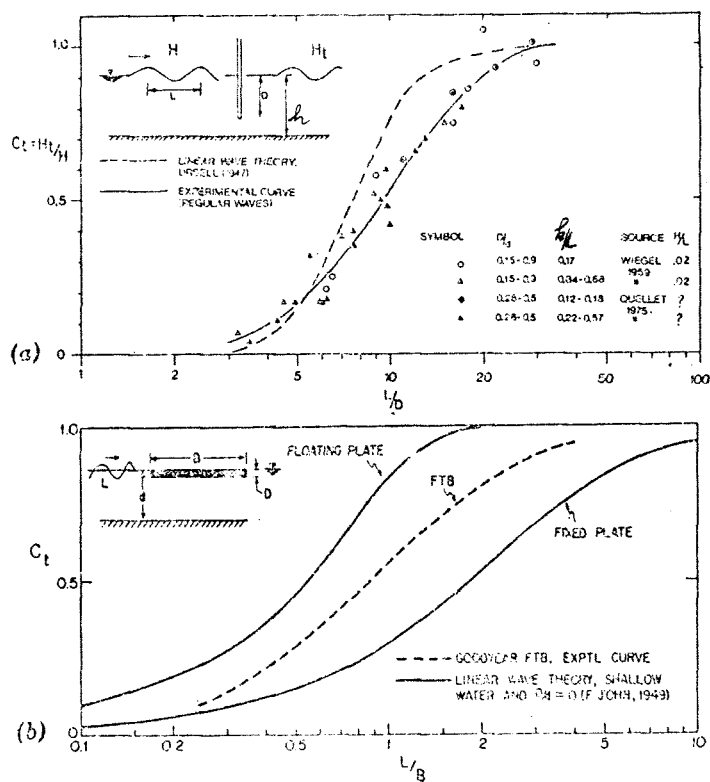


Fig. 3.5.6. Golftransmissie van (a) een verticale en (b) een horizontale.

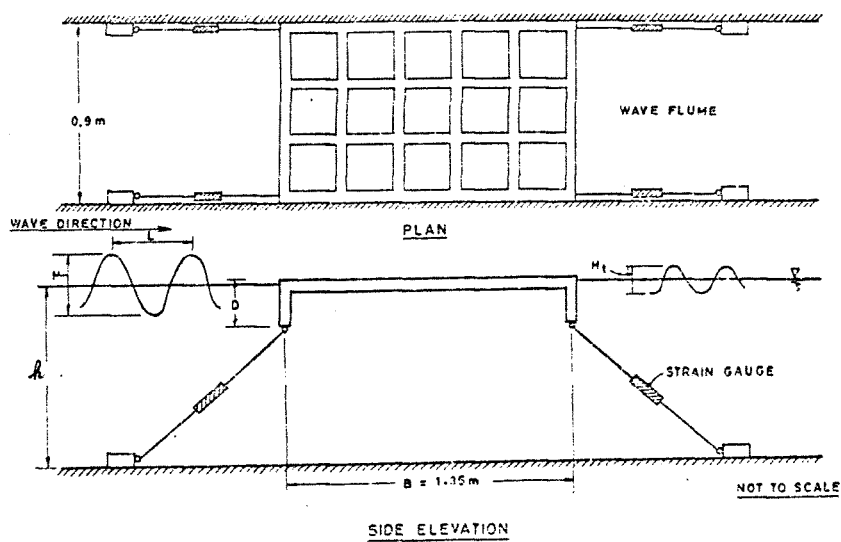


Fig. 3.5.7. Definitieschets van een drijvende golfbreker.

golfdempende constructie (fig. 3.5.7) vinden zij bovendien een duidelijke invloed van de relatieve diepgang D/h en de golfsteilheid H_L/L op de transmissiecoëfficiënt (fig. 3.5.8).

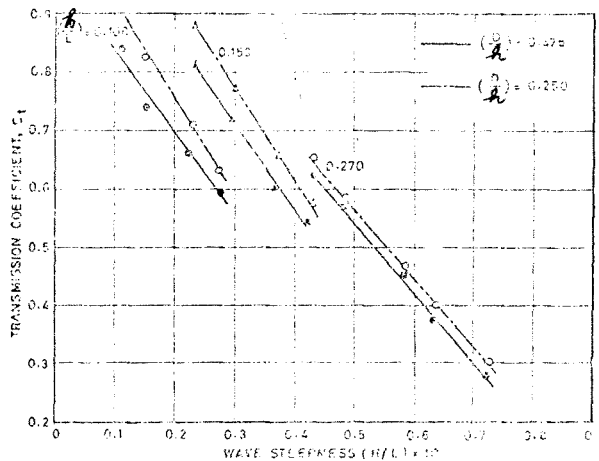


Fig. 3.5.8. Invloed van relatieve diepgang om golfsteilheid op C_t

Bishop [1982] geeft aan dat deze invloed van de golfsteilheid op de transmissiecoëfficiënt ook wordt gevonden door Isaacson en Fraser [1979] in een mathematische analyse en door modeltesten met golfdempende constructie van autobanden door Kamel en Davidson [1968].

Het gros van de hiervoor behandelde golfdempende constructies (ook stijve constructies) werkt primair als golfreflector. Dat geldt zowel voor de verticale plaat als voor de horizontale plaat (directe resp. indirecte terugkaatsing). Slechts een klein deel van de golfenergie wordt door de constructie gedissipeerd. Het tegengestelde gaat op voor een drijvende golfdempende constructie samengesteld uit autobanden, dat is primair een golfenergie dissipator. De golfenergie wordt vooral omgezet in turbulentie in en om de vele componenten van deze constructie. Slechts een klein deel van de golfenergie wordt gereflecteerd. Dit is weergegeven in figuur 3.5.9 (Harms [1979]). De hoeveelheid gedissipeerde energie (E_D) blijkt 5 à 15 maal zo groot te zijn als de hoeveelheid gereflecteerde energie (E_R).

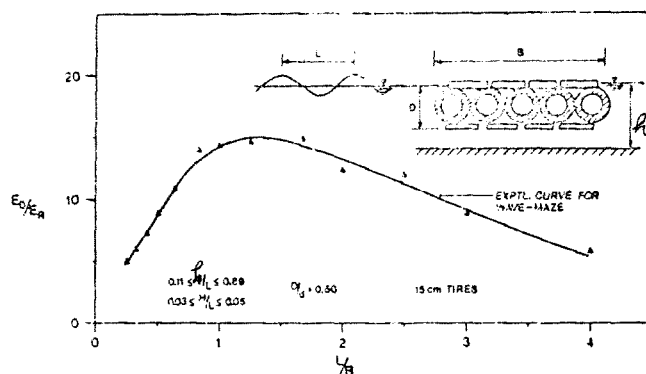


Fig. 3.5.9. Verhouding gedissipeerde en gereflecteerde energie bij een drijvende banden constructie.

Harms toont aan dat de hoeveelheid energiedissipatie evenredig is met het aantal banden in de constructie. Harms vergelijkt ook de (experimenteel bepaalde) golftransmissiecarakteristiek van een golfdempende constructie bestaande uit banden (FTB - Floating Tire Breakwaves) met de karakteristieken van golfdempende constructies die vnl. als golfreflector werken: een verticale en een horizontale plaat. Dit is weergegeven in figuur 3.5.6 (Opm.: Een belangrijke mate van energiedissipatie treedt óók op voor erg steile golven bij verticale, gladde, ondoorlatende constructies). Uit figuur 3.5.6 volgt dat het golfdempende gedrag van de Goodyear FTB (een op een bepaalde manier samengestelde golfdempende constructie van autobanden) ligt tussen dat van een vaste plaat en dat van een drijvende plaat. Verder vindt Harms dat voor een verhouding $B/D = 12$ (fig. 3.5.6), een Goodyear FTB in ongeveer dezelfde mate golven dempt als een vaste verticale plaat met gelijke diepgang D).

Voor de flexibele constructie samengesteld uit autobanden bestaat een duidelijk verband tussen transmissiecoëfficiënt en relatieve plaatlengte. Voor nog slappere constructies zoals drijvend plastic folie is dat verband er niet: een elastisch vrij drijvend folie met een eindige lengte kan een hoge reflectiecoëfficiënt geven. Echter, een kleine wijziging in de lengte van de folie geeft een geheel andere waarde van de reflectiecoëfficiënt (Ofuya [1968]). Ofuya en Reynolds [1967] vinden voor dunne polyethyleenfolies, dat lange golven de constructie met weinig energieverlies passeren. Korte golven echter ondervinden vrij veel demping, vnl. t.g.v. vervorming van de folie, wrijving langs de onderkant van de folie en verlies in de watersprongen door golfoverslag. Deze constructies komen in hoofdstuk 4 uitgebreider aan de orde.

3.6 Objecten op de bodem

Objecten op de bodem (figuur 3.6.1) hebben een ander golfdempend gedrag dan objecten bij het wateroppervlak.

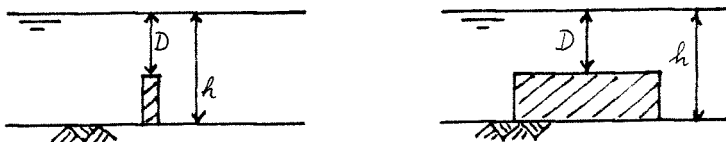


Fig. 3.6.1. Objecten op de bodem.

Al eerder is aangetoond dat "oppervlakte-objecten" korte golven beter dempen dan lange golven. Bij "bodemobjecten" is juist het omgekeerde het geval: lange golven worden beter gedempt dan korte golven (figuur 3.6.2). De verklaring voor beide gevallen is gelegen in de energieverdeling in golven. Bij relatief korte golven (vergelijkbaar met een diep water situatie) is de energie geconcentreerd in de buurt van het wateroppervlak en bij relatief lange golven (vergelijkbaar met een ondiep water situatie) is de energie meer gelijkmatig over de diepte verdeeld. Energie die door een "oppervlakte-object" wordt onderschept wordt door een "bodemobject" juist doorgelaten.

Voor dunne platen in diep water heeft Dean [1945] een theorie ontwikkeld voor de bepaling van de reflectie- en transmissiecoëfficiënt. De resultaten daarvan zijn weergegeven in figuur 3.6.2, tezamen met de resultaten van een aantal proefnemingen door Milne Dick en Brebner [1968]. Er is een goede overeenkomst. Afwijkingen worden vooral veroorzaakt door visceuze demping, die niet in Dean's theorie is verwerkt.

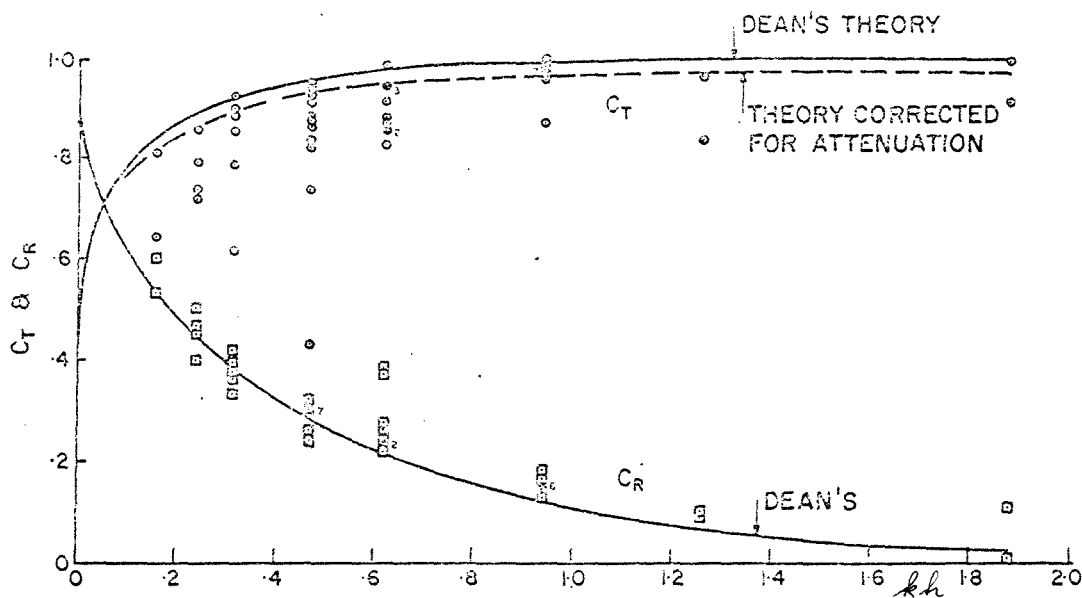


Fig. 3.6.2. Vergelijking tussen theorie en experimenten voor een dunne plaat in (oneindig) diep water.

Voor de overige waterdiepten is door Johnson, Fuchs en Morison [1951] een vergelijking voor C_T gegeven, gebaseerd op de aanname dat de energie die de top van het object passeert daarachter weer als golf verschijnt:

$$C_T = \sqrt{1 - \frac{2k(h-D) + \sinh 2k(h-D)}{2kh + \sinh 2kh}}$$

Dit resultaat komt overeen met de reflectiecoëfficiënt van een bij het wateroppervlak gesitueerde plaat (paragraaf 3.2), indien D de vrije ruimte boven de plaat, dan wel de diepgang weergeeft (figuur 3.6.3).

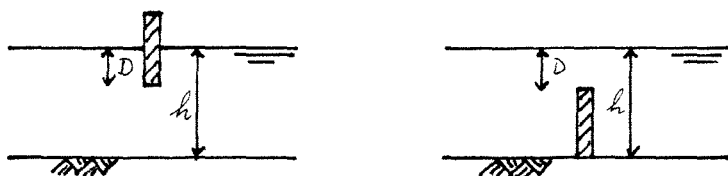


Fig. 3.6.3. Dunne platen bij wateroppervlak en bodem.

Bij brede objecten heeft niet alleen de diepte van de bovenkant van het object onder de waterspiegel invloed op de golfdempende werking, ook de breedte en de vorm van het object spelen een rol. Onderzoek daarnaar is gedaan door Dattatri, Raman en Jothi Shankar [1978]. Zij hebben verder de invloed van de golfsteilheid, de relatieve waterdiepte en de porositeit van ondergedompelde objecten onderzocht.

Uit figuur 3.6.4 blijkt dat steile golven in het algemeen wat beter gedempt worden dan flauwe golven: de steile golven breken gemakkelijker. De invloed van de golfsteilheid is echter klein.

De invloed van de relatieve waterdiepte is weergegeven in figuur 3.6.5. Deze invloed blijkt niet erg groot te zijn als D/h ligt tussen 0,0 en 0,2. Als D/h groter is dan 0,2, geven grotere h/L waarden een wat grotere transmissie te zien. Dat is als volgt te verklaren: grotere waarden van h/L corresponderen met golven in dieper water, waarbij meer energie bij het wateroppervlak is geconcentreerd. Als dan ook D/h groot is, dan wordt die energie gemakkelijker over het object doorgegeven.

De invloed van de relatieve breedte van de bovenkant van het object is weergegeven in figuur 3.6.6. Het blijkt dat voor waarden van B/L tussen 0,2 en 0,3 de transmissiecoëfficiënt een minimum heeft. De positie van het minimum hangt af van D/h : voor groter wordende D/h verschuift het minimum van 0,2 naar 0,3. Grotere breedten dan $B/L = 0,3$ dragen niet wezenlijk bij tot een verlaging van de transmissiecoëfficiënt. De verklaring is als volgt: als golven een ondergedompeld object bereiken worden ze steiler en kunnen ze gaan breken. Is het object smal, dan komen de golven vrijwel direct in het relatief diepe water achter het object, waardoor ze niet breken. Is het object voldoende breed, dan komen de steilere golven gedurende enige tijd in een gebied met relatief ondiep water, zodat ze breken. Het breken zorgt voor energiedissipatie en daardoor voor een kleinere transmissiecoëfficiënt.

De invloed van de objectvorm op de transmissiecoëfficiënt is weergegeven in figuur 3.6.7. De golfdempende eigenschappen van de verschillende vormen blijken onderling niet veel te verschillen. Er is wel een verschil in de manier waarop de demping tot stand komt. Een

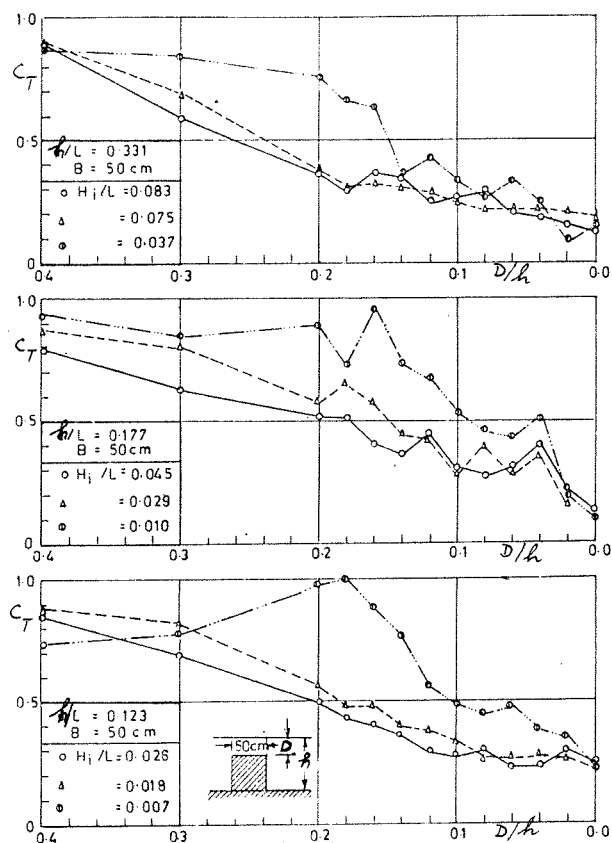


Fig. 3.4.6. Invloed van golfsteilheid op transmissie.

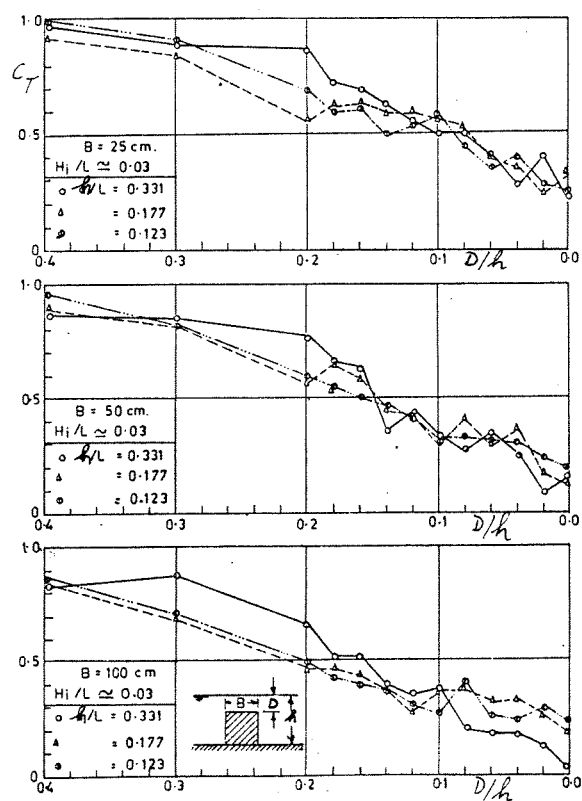


Fig. 3.6.5. Invloed van relatieve waterdiepte op transmissie

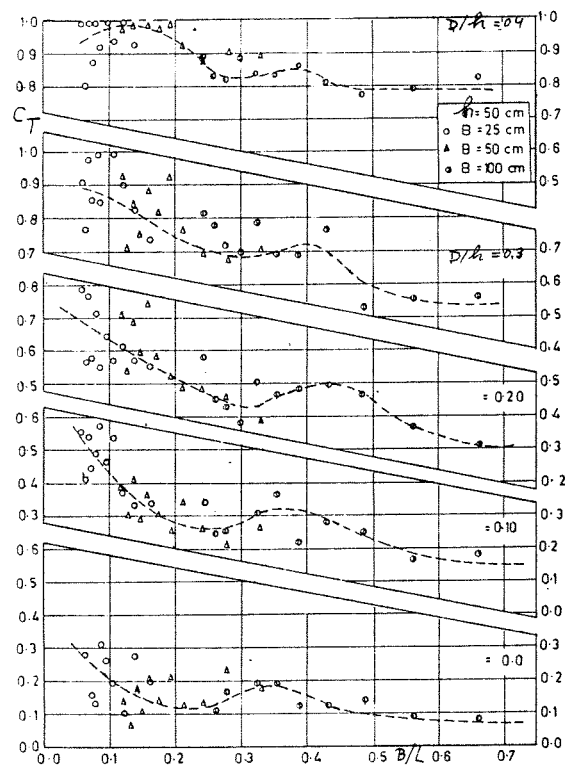


Fig. 3.6.6. Transmissiecoëfficiënt als functie van de relatieve kruinbreedte.

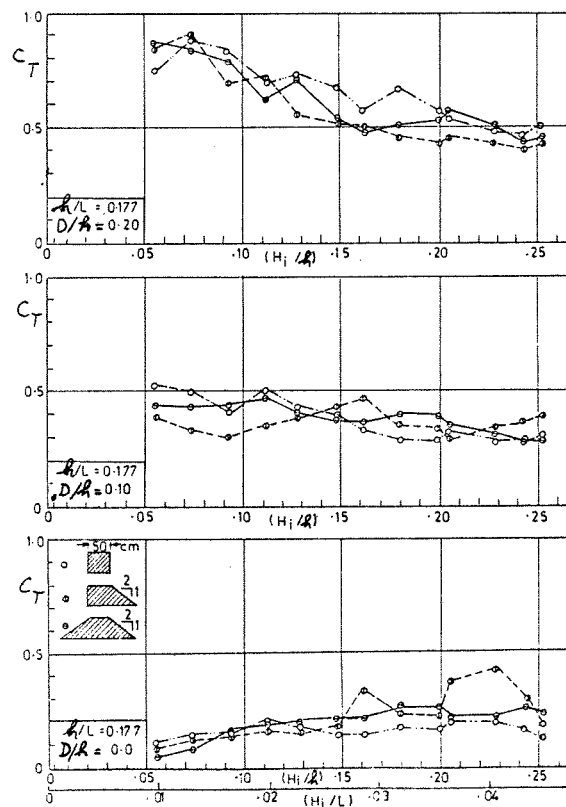


Fig.3.6.7. Invloed vorm op transmissiecoëfficiënt.

verticale voorkant reflecteert vooral. Een schuine voorkant geeft weinig reflectie, maar zorgt er wel voor dat golven steiler worden, zodat ze gaan breken.

Een verticale voorkant heeft nadelen. Doordat zich (gedeeltelijk) staande golven ontwikkelen worden grote krachten op het object uitgeoefend. Bovendien kunnen problemen ontstaan door uitschuring van de bodem.

Een andere factor die van invloed is op de transmissiecoëfficiënt is de porositeit van het object. Die invloed is weergegeven in figuur 3.6.8. Als de vrije ruimte boven het object relatief klein is, heeft de porositeit grote invloed. Is de vrije ruimte echter relatief groot, dan is de energie die door het object gaat relatief klein t.o.v. de energie die over het object heen gaat. Dan heeft de porositeit weinig invloed op de transmissiecoëfficiënt.

Uit figuur 3.6.8 blijkt nog eens dat de invloed van de golfsteilheid relatief klein is.

De relatieve diepte (D/h) en de relatieve breedte (B/L) van de bovenkant van het object blijken de grootste invloed te hebben op de transmissiecoëfficiënt. Grafieken met deze parameters geven daardoor een goed inzicht in de golfdempende werking. Een aantal van deze grafieken zijn weergegeven in de figuren 3.6.9 en 3.6.10.

Door Ahrens [1984] is ook onderzoek gedaan naar het golfdempende gedrag van geheel of gedeeltelijk ondergedompelde, doorlatende golfbrekers. Hij heeft zich voornamelijk gericht op de invloed van de vrije ruimte boven de constructie op de transmissiecoëfficiënt. In figuur 3.6.11 is de trend van zijn resultaten weergegeven (In die figuur is $-F = D$ de vrije ruimte boven het object en is H_g de significante golfhoogte). Voor constante golfsteilheid en constante golflengte/waterdiepte verhouding is F/H_g dezelfde variabele, op een constante factor na, als D/h bij Dattatri et al.: $D/h = (D/H_g) \cdot (H_g/L) \cdot (L/h)$. De figuur is slechts een schematisatie omdat gebruik is gemaakt van de resultaten van meerdere proefnemingen.

Voor relatief hoge golfbrekers wordt de transmissie niet langer gedomineerd door golven die over de constructie heenlopen, maar door energiedoorgifte door de constructie zelf. Een belangrijke parameter is

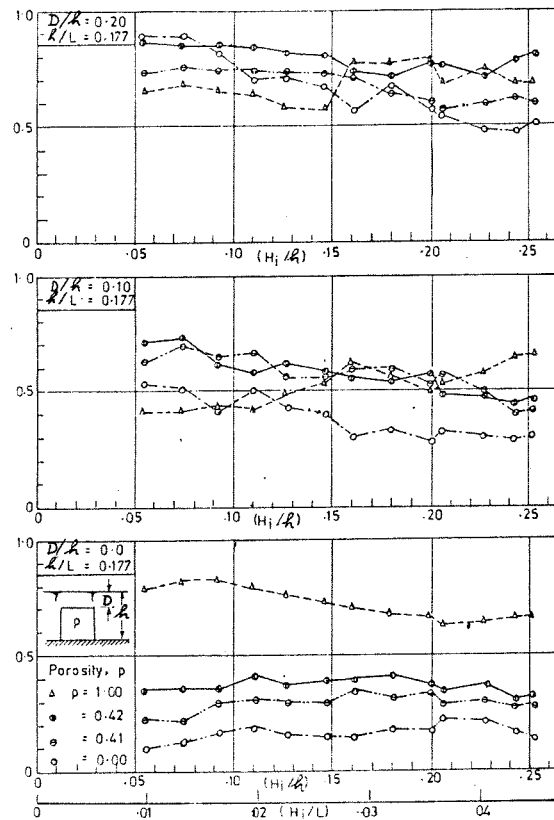


Fig. 3.6.8. Invloed van de porositeit op de transmissiecoëfficiënt.

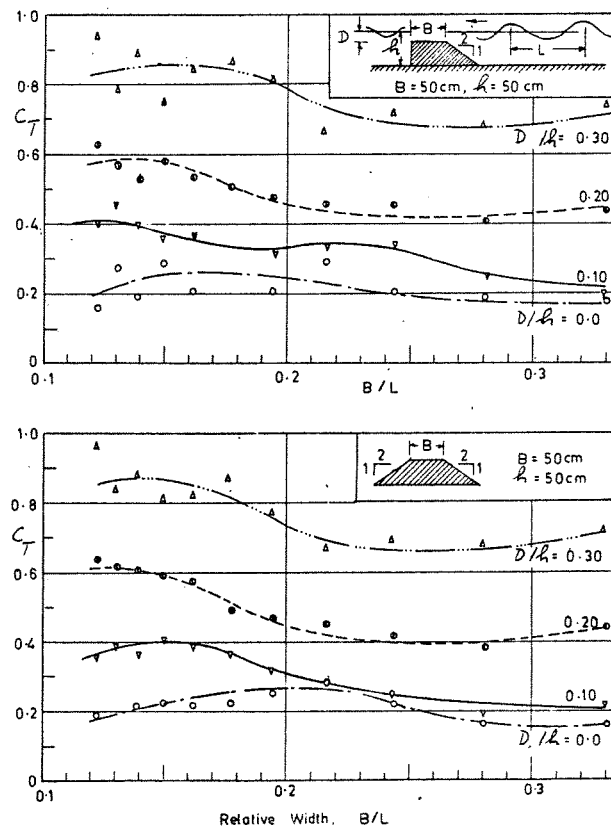


Fig. 3.6.9. Transmissiecoëfficiënt van een trapezevormige constructie.

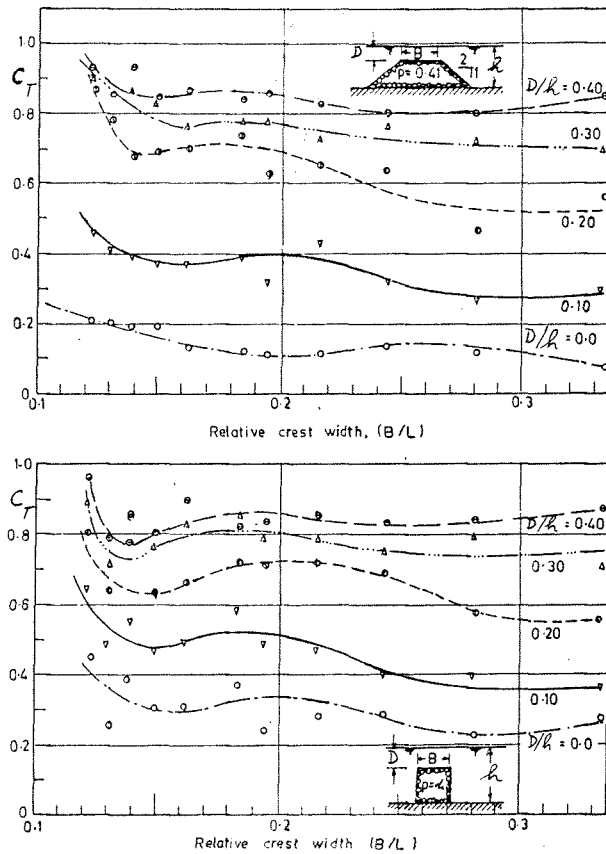


Fig.3.6.10. Transmissiecoëfficiënt van een doorlatende constructie.

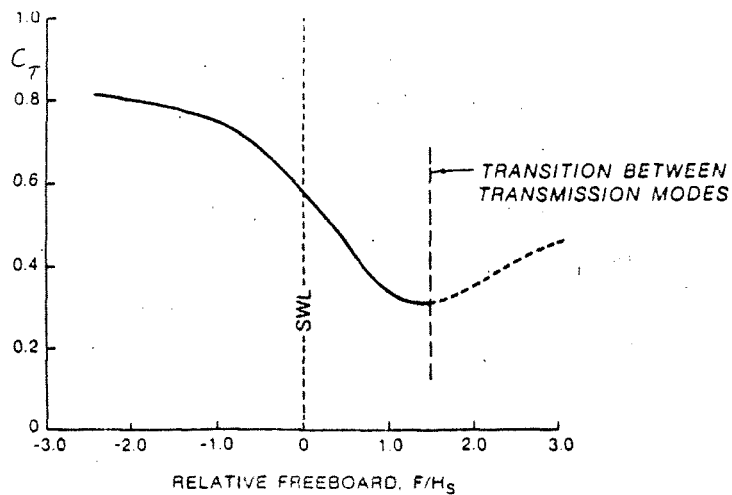


Fig. 3.6.11. Transmissie als functie van het relatieve vrijboord.

dan de golfsteilheid H_s/L . In figuur 3.6.11 is die invloed merkbaar voor $F/H_s > 1.5$: voor constante F neemt de transmissiecoëfficiënt toe als de golven minder steil worden.

Ahrens laat ook zien dat de golfdemping van dergelijke poreuze constructies voornamelijk berust op energiedissipatie (figuur 3.6.12). In die figuur is links het percentage getransmitteerde golfenergie uitgezet en rechts het percentage gereflecteerde energie. Het verschil geeft het percentage gedissipeerde energie (Er is gebruik gemaakt van $C_T + C_R + \text{dissipatie} = 1$, met $C_R = \sqrt{E_R/E_I}$, $C_T = \sqrt{E_T/E_I}$, zodat de dissipatie dät deel van de inkomende golfenergie E_I is, dat overblijft als de getransmitteerde golfenergie E_T en de gereflecteerde golfenergie E_R er van zijn afgetrokken).

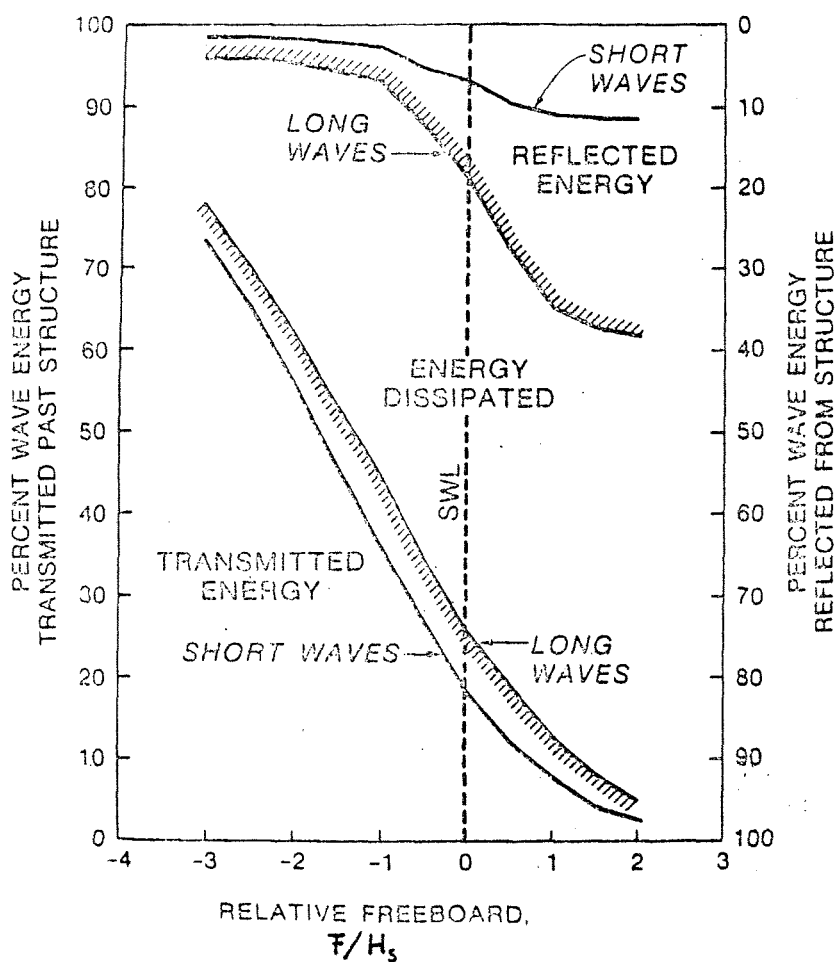


Fig. 3.6.12. Transmissie en reflectie van een poreuze constructie.

3.7. Invloed van massa op de golfdemping

Al een aantal malen is, soms impliciet, naar voren gekomen dat de massa van een object invloed heeft op de transmissiecoëfficiënt: een grotere massa geeft een kleinere transmissiecoëfficiënt.

Dat komt o.a. tot uitdrukking in figuur 3.3.7 (de vrij drijvende cilinder). Het soortelijk gewicht van de drie cilinders is hetzelfde; door hun verschillende vorm is hun massa verschillend. Ondanks de vormverschillen (de objecten zijn daardoor niet helemaal vergelijkbaar), kan geconcludeerd worden dat de zwaarste cilinder de beste golfdempende eigenschappen heeft.

Een zelfde beeld geeft figuur 3.4.34, waarin C_T is weergegeven voor vierkante objecten met verschillende natuurlijke trillingstijden T_N (voor de rolbeweging). De objecten met de grootste trillingstijden hebben de beste golfdempende eigenschappen, en grotere trillingstijden gaan samen met grotere massa's en massatraagheidsmomenten. Als verliezen t.g.v. wrijving, demping, enz. verwaarloosd worden, kan T_N (voor de rolbeweging) bepaald worden met: $T_N = 2\pi j / \sqrt{gh_m} \approx 2j / \sqrt{h_m}$, met j = traagheidsstraal, h_m = metacentrumhoogte. Een grotere T_N zorgt voor een betere demping. De massa kan echter niet onbeperkt vergroot worden, omdat dan de stabiliteit van de constructie in gevaar kan komen.

Verder bleek dat de verankering het dempingsgedrag beïnvloedt: vaste objecten (: met stijve verankering) dempen beter dan drijvende objecten. Dat strookt met de invloed van de massa op C_T , want in feite is de golfdemping van een zeer zwaar drijvend object te vergelijken met de golfdemping van een vergelijkbaar vast object.

Uit de formule voor de rolperiode T_N ($T_N = 2j / \sqrt{h_m}$) blijkt dat T_N ook afhangt van het massatraagheidsmoment. Hoe groter het massatraagheidsmoment, hoe groter T_N . Zo kan, door een gunstige verdeling van de massa, de transmissie t.g.v. de rolbeweging verminderd worden.

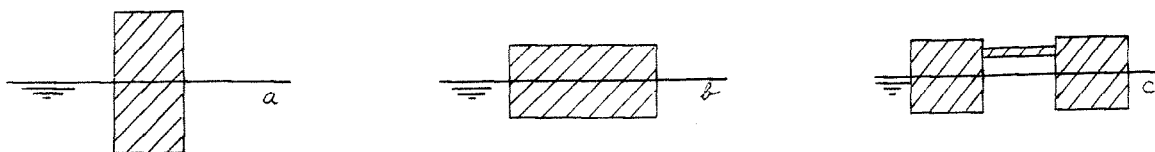


Fig. 3.7.1. Verschillende massaverdelingen.

Zo zal object c uit figuur 3.7.1 het grootste massatraagheidsmoment hebben (bij gelijke massa's).

In het bovenstaande zijn massa en massatraagheid vnl. van invloed op de rolbeweging. Uiteraard worden ook deinen en verzetten erdoor beïnvloed: een grotere massa of massatraagheid geeft minder deinen of verzetten en minder transmissie t.g.v. die bewegingen. Voor (ongedempt) deinen en verzetten is de natuurlijke trillingstijd $T_N = 2\pi\sqrt{m/k}$, met m = massa, k = veerstijfheid van het systeem. Bij de massa moet ook de meebewegende watermassa meegerekend worden. Zo heeft object C uit figuur 3.7.1 een grotere meebewegende watermassa dan object B. De veerstijfheid kan worden bepaald door de kracht F te meten, waarmee de massa over een eenheidsafstand u verplaatst wordt: $k = F/u$.

3.8 Verankeringskrachten

Voor het bepalen van de verankeringskrachten kan onderscheid worden gemaakt tussen drijvende constructies en vaste constructies. De horizontale en/of verticale krachtcomponenten zijn in het algemeen voor vaste constructies een flink stuk groter dan voor drijvende constructies. Verder speelt bij drijvende constructies de eigentrillingstijd T_N een rol in het krachten spel. Bij golfperioden T die liggen in de buurt van de eigentrillingsperiode worden de krachten een stuk groter. Dat komt doordat voor $T_N \approx T$ de bewegingen groter worden. Bij toenemende beweging (grotere uitwijkingen) nemen de verankeringskrachten ook toe. Eén en ander is weergegeven in figuur 3.4.11.

In het algemeen kan gezegd worden dat grotere reflectiecoëfficiënten (kleinere transmissiecoëfficiënten) gepaard gaan met grotere verankeringskrachten (zie ook de figuren 3.4.10 en 3.4.11). Daarentegen

nemen de verankeringskrachten af als de massa toeneemt (figuur 3.4.11). De constructie wordt minder gevoelig voor de golfbewegingen. Door een geschikt aangrijpingspunt voor de ankerlijn(en) te kiezen kunnen de krachten ook kleiner gemaakt worden: een lijn die aangrijpt onder het centrum van de rolbeweging wordt slapper als een horizontale golfkracht de constructie laat rollen.

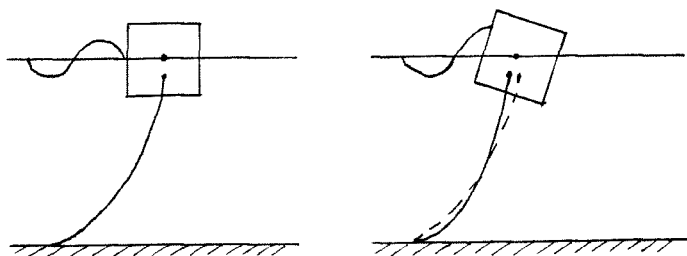


Fig. 3.8.1. Invloed rolbeweging op ankerlijn.

Constructies die golfdempende werking vooral van hun bewegingen moeten hebben, zoals constructies die tegengesteld rollen aan de golfbeweging (fig. 3.4.12), ondervinden daardoor juist grote verankeringskrachten.

Verankeringskrachten worden vaak in een dimensieloze vorm weergegeven, zoals door Ippen [1966]

$$F_x = F_{x\max} / \rho \cdot g \cdot \left(\frac{H_c}{2}\right) \cdot y,$$

met F_x = dimensieloze horizontale krachtcoëfficiënt per lengte
eenheid

$F_{x\max}$ = maximale horizontale kracht

ρ = soortelijk gewicht van water

g = versnelling van de zwaartekracht

y = karakteristieke lineaire dimensie

Voor een verticale plaat kan voor y de diepgang worden gekozen, voor een horizontale plaat de breedte van de plaat.

In figuur 3.8.2 zijn de krachtcoëfficiënten voor 4 constructies weergegeven (Richey en Nece [1974]).

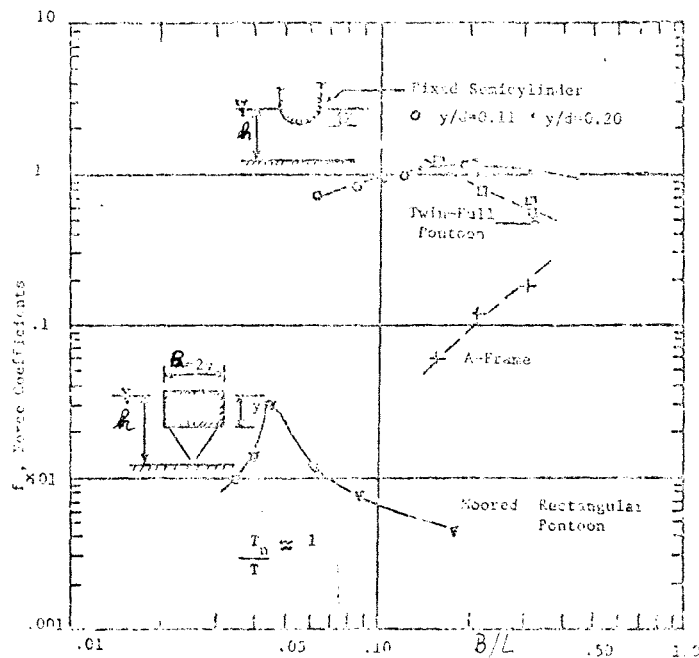


Fig. 3.8.2. Kracht - Coëfficiënten

De in de figuur weergegeven krachten zijn gemeten voor 2-dimensionale modellen waarbij de golfkracht over de gehele lengte ($\perp$ golfrichting) van de constructie aangrijpt (Er wordt uitgegaan van langkammige golven). Met name voor onregelmatige golven (zoals windgolven) zijn de golfkammen kort. Als een constructie blootgesteld is aan kortkammige golven wordt de totale kracht op een zeker moment bepaald door de momentane waterstand langs de gehele constructie. Als de constructielengte (dimensie evenwijdig aan golfkam) van dezelfde grootte-orde is als de golfkamlength, zal de resulterende kracht aanzienlijk verschillen van de kracht in het 2-dimensionale geval. Figuur 3.8.3 laat de maximumkracht per lengte eenheid zien (op een ponton) als functie van de relatieve pontonlength λ/L_0 (λ = constructielengte, L_0 = karakteristieke golflengte. F_0 is de geïnterpoleerde maximale kracht voor een relatieve pontonlength $\lambda/L_0 = 1$).

M.a.w. kleinere verankeringskrachten kunnen worden bewerkstelligd door:

- grote massa's
- grote massatraagheidsmomenten
- geschikte aangrijpingspunten van de verankering
- "kleine" bewegingen
- grote constructielengten (golfvoortplantingsrichting)

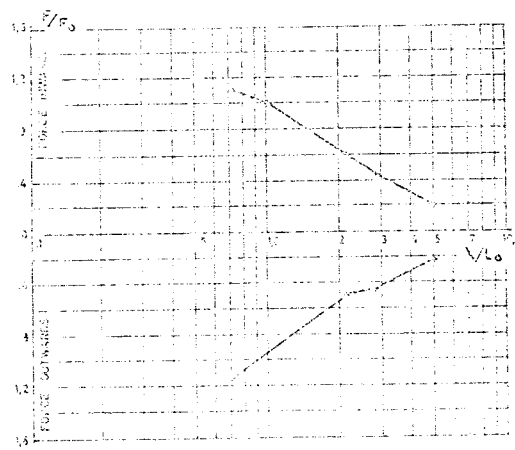


Fig. 3.8.3. Max. kracht per eenheid van lengte als functie van de relatieve constructielengte.

4. GOLFDEMPENDE CONSTRUCTIES

4.1 Inleiding

In het voorgaande hoofdstuk zijn de golfdempende eigenschappen van een aantal elementaire objecten behandeld. In dit hoofdstuk komen reële constructies aan de orde.

In principe kan er nu onderscheid worden gemaakt tussen constructies geschikt voor gebieden met een stagnante waterstand en gebieden met een fluctuerende waterstand (getijgebied). Voor de volledigheid van dit onderzoek wordt dat onderscheid pas gemaakt in de ontwerpfase: dergelijke omgevingscondities worden dan meegenomen als randvoorwaarden voor het ontwerp.

4.2 Groepsindeling golfdempende constructies

De in hoofdstuk 2 gegeven indeling vast-beweeglijk wordt ook hier aangehouden. Daarbij kan onder beweeglijk meestal drijvend worden verstaan. Voor een onderverdeling van drijvende constructies wordt gebruik gemaakt van de indeling (naar geometrische overeenkomsten) van Richey en Nece [1974], zie figuur 4.2.1).

Daarmee wordt de indeling

A - Vaste constructies

A.1 - Constructies bij het wateroppervlak

A.2 - Constructies bij de bodem

A.3 - Overige

B - Drijvende constructies (figuur 4.2.1)

B.1 - Prismatische objecten

B.2 - Vlotten

B.3 - Catamarans

B.4 - A-frames

B.5 - Flexibele constructies

B.6 - Getuide boeien

C - Diversen

Deze groepen komen in de volgende paragrafen aan de orde.

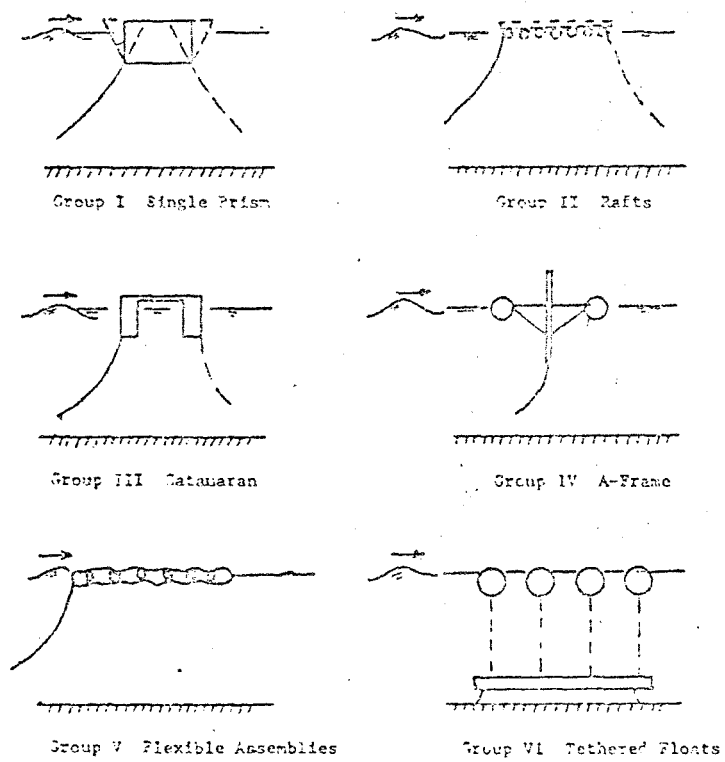


Fig. 4.2.1.1. Drijvende golfdempende constructies.

4.3 Vaste constructies

Van de vaste constructies worden hier met name de smalle constructies beschouwd. De invloed van de constructiebreedte op de golfdemping komt bij de drijvende constructies aan de orde.

Allereerst worden constructies behandeld die bij het wateroppervlak zijn gesitueerd: 1 of meer achter elkaar geplaatste wanden. Dan komen constructies aan de orde die bij de bodem zijn gesitueerd: stenen dammen. En tot slot worden constructies behandeld die niet in een van deze twee categorieën vallen, zoals palenrijen en schermen met horizontale spleten.

4.3.1 Verticale wanden

De golfdemping van een enkele wand is uitvoerig beschreven in paragraaf 3.2.

Het golfdempende gedrag van 2 achter elkaar geplaatste wanden is onderzocht door Tanaka [1966].

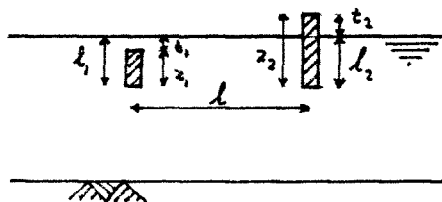


Fig. 4.3.1.1. Definitieschets.

Golven die over de voorste, lage wand slaan, verstoren de orbitaalbeweging tussen de wanden. Daardoor wordt de transmissie onder de wanden belemmerd.

De conclusies van Tanaka zijn:

- Er wordt meer golfenergie gedissipeerd naarmate gemakkelijker water over de voorste wand in de ruimte tussen de wanden kan komen.
- De achterste wand moet voldoende hoog zijn om te voorkomen dat de verstoorde waterbeweging tussen de wanden invloed heeft op het water achter de achterste wand.
- De golfdemping wordt beter naarmate de openingen onder de wanden kleiner zijn.

Enige onderzoekresultaten van Tanaka zijn weergegeven in de figuren 4.3.1.2 t/m 4.3.1.6 (golflengte = 1,0 m, waterdiepte $H_{\max} = 0,15$ m, $t_1 + l_1 = 0,05$ m, $t_2 + l_2 = 0,10$ m).

In de figuren is ter vergelijking ook de demping t.g.v. een enkele wand weergegeven (berekend m.b.v. de ondiep water theorie van Wiegel). Een dubbele wand heeft duidelijk betere golfdempende eigenschappen.

Voor het verkrijgen van goede golfdempende resultaten beveelt Tanaka de volgende dimensies aan: $z_1 = H_I$, $z_2 = 2H_I$, $l = 0,25 L$, $t_1 = 0,25 H_I$, met H_I = ontwerpgolfhoogte, L = ontwerpgolflengte.

De goede golfdemping bij $l = 0,25 L$ wordt waarschijnlijk veroorzaakt door resonantie: de inkomende golven worden door de voorste wand deels teruggekaatst en deels doorgelaten. Het doorgelaten deel wordt door de achterste wand teruggekaatst en komt met een aan de inkomende golven tegengestelde fase bij de voorste wand terug, waardoor demping plaatsvindt.

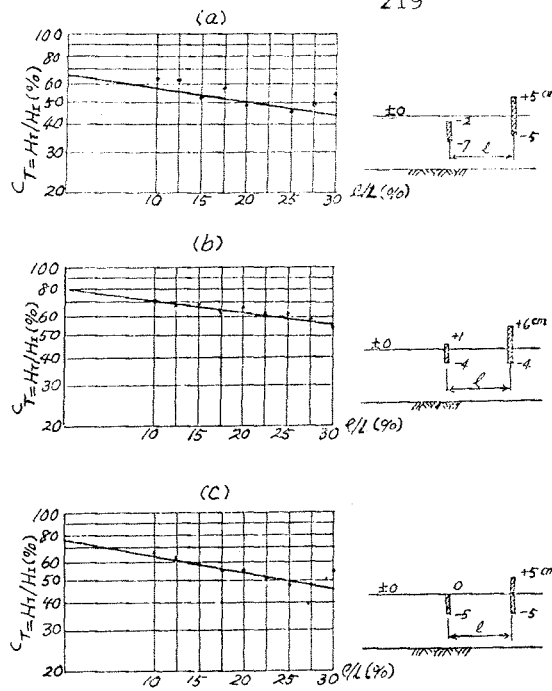
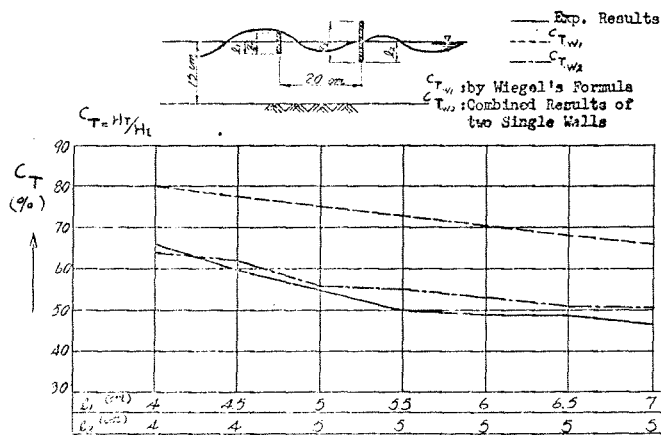
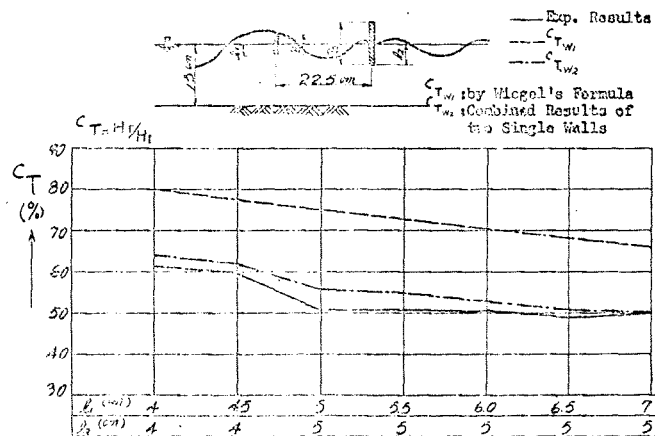
4.3.2 Bodemconstructies

In paragraaf 3.6 is de golfdempende werking van bij de bodem gesitueerde constructies uitvoerig aan de orde geweest. Daarbij kwam naar voren dat er 2 belangrijke parameters zijn die de golfdemping beïnvloeden.

Enerzijds is dat de vrije ruimte tussen de bovenkant van de constructie en het gemiddelde waterniveau (het "vrijboord"), anderzijds is dat de golfsteilheid. De golfsteilheid speelt vnl. een rol als de constructie boven de gemiddelde waterstand uitsteekt: de transmissie vindt dan plaats dóór de constructie, en is groter naarmate de golven minder steil zijn. Zijn de constructies laag (bovenkant onder de gemiddelde waterstand), dan wordt de transmissie vooral bepaald door de ruimte boven de bovenkant van de constructie: hoe groter die ruimte, hoe groter de transmissie.

4.3.3 Wanden met horizontale spleten

Sawaragi, Iwata en Pena [1976] hebben het golfdempend gedrag van wanden met horizontale spleten onderzocht.

Fig. 4.3.1.2. Relatie tussen H_T/H_I en $1/L$.Fig. 4.3.1.3. Waarde van C_T t.o.v. C_{TW1} en C_{TW2} Fig. 4.3.1.4. Waarde van C_T t.o.v. C_{TW1} en C_{TW2} .

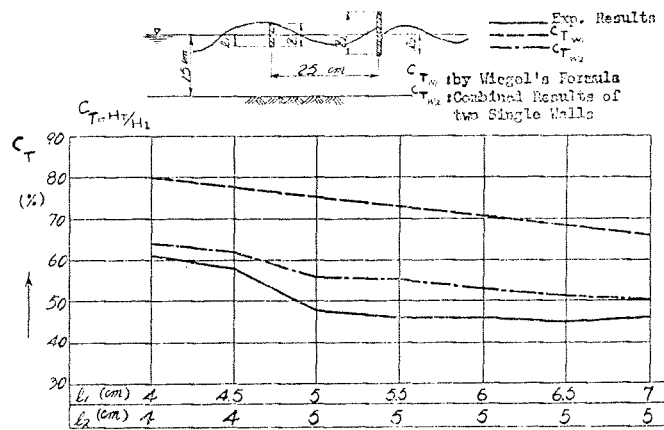


Fig. 4.3.1.5. Waarde van C_T t.o.v. C_{TW1} en C_{TW2} .

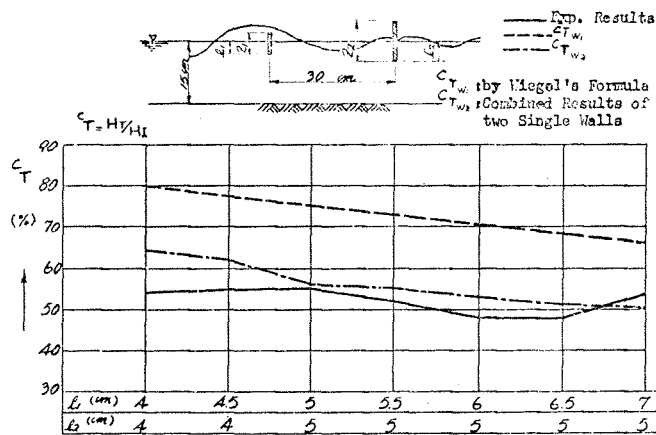


Fig. 4.3.1.6. Waarde van C_T t.o.v. C_{TW1} en C_{TW2} .

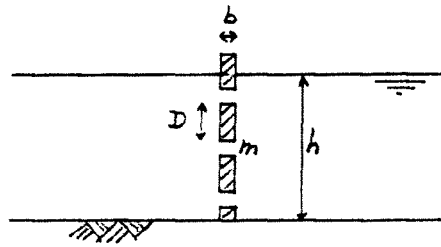


Fig. 4.3.3.1. Definitieschets.

Voor een tot de bodem doorlopende wand is voor een variabele porositeit m het verloop van de transmissiecoëfficiënt en de reflectiecoëfficiënt weergegeven in figuur 4.3.3.2. Daaruit blijkt dat met kleine openingspercentages goede golfdempende resultaten zijn te bereiken.

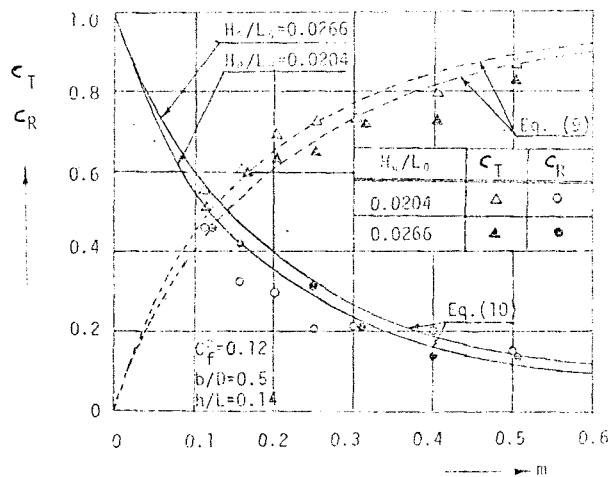


Fig. 4.3.3.2. Invloed van m op C_T en C_R .

Als de wand niet doorloopt tot de bodem, wordt de golfdemping minder.
 Zie figuur 4.3.3.3.

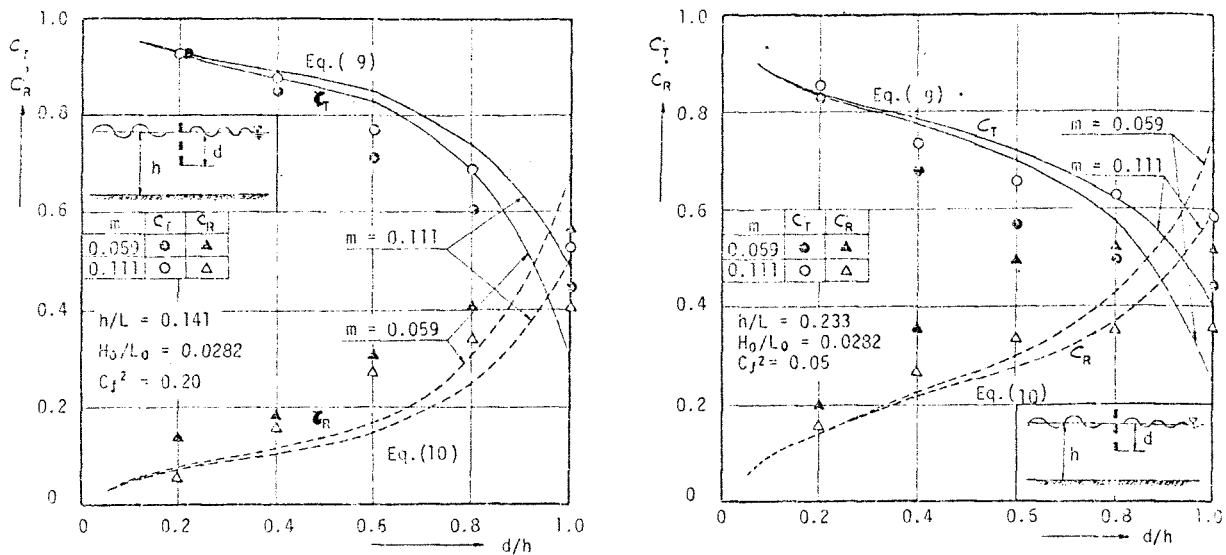


Fig. 4.3.3.3. Invloed van d/h op C_T en C_R .

Factoren die weinig invloed op de golfdemping blijken te hebben zijn de relatieve plankhoogte d/H (plankhoogte/golfhoogte) en de relatieve plankbreedte b/d (plankbreedte/plankhoogte).

Resultaten van 2 achter elkaar geplaatste doorlatende wanden zijn weergegeven in de figuren 4.3.3.4 t/m 4.3.3.6. Figuur 4.3.3.6 laat de invloed van resonantie zien. Als de wandafstand $1/4$ of $3/4$ golflengte is vindt demping plaats.

4.3.4 Palenrijen

Golfreflectie en -transmissie t.g.v. palenrijen is door verschillende onderzoekers zowel theoretisch als experimenteel onderzocht. Prager [1981] heeft de transmissie- en reflectiecoëfficiënten van een zgn. Jarlanwand bepaald. Dat is een wand bestaande uit relatief dunne verticale platen. Voor kleine openingspercentages blijkt een dergelijke wand met verticale spleten golven goed te dempen (figuur 4.3.4.1).

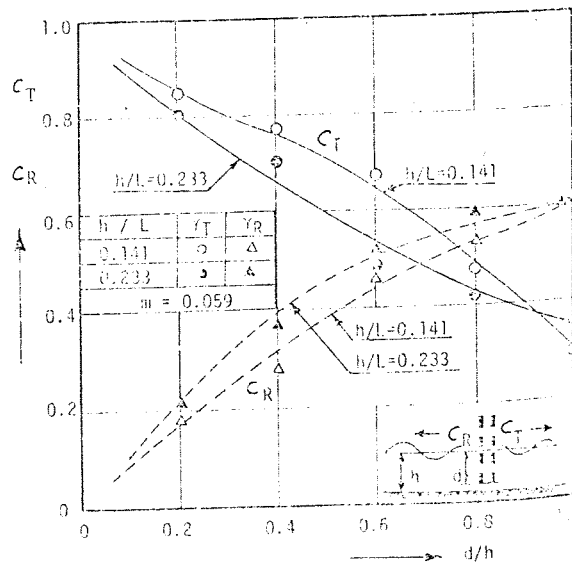
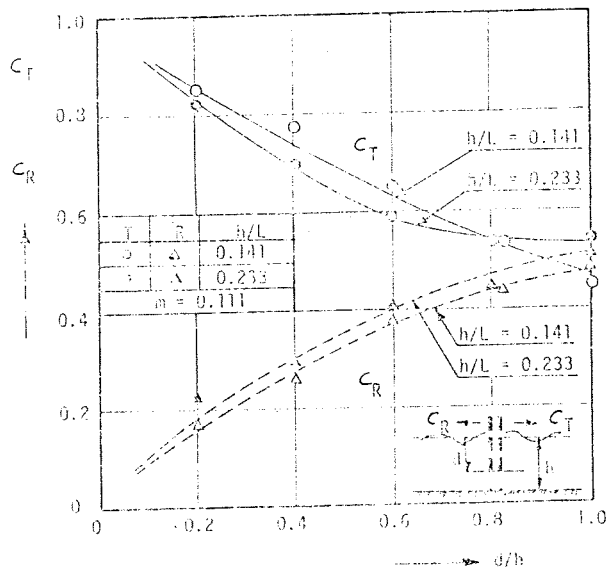


Fig. 4.3.3.4. Invloed van d/h op C_T en C_R (2 rijen planken).

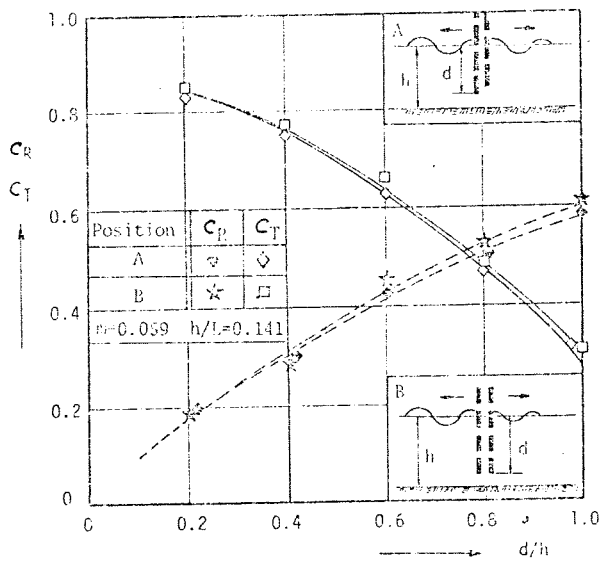


Fig. 4.3.3.5. Invloed van d/h op C_T en C_R (2 rijen planken).

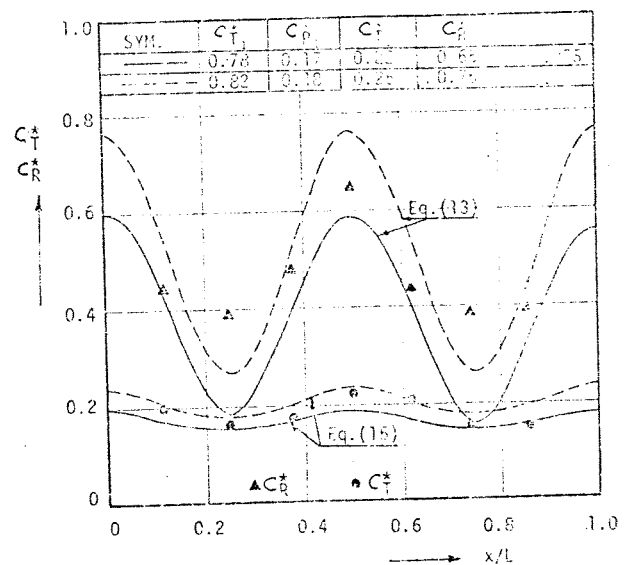


Fig. 4.3.3.6. Invloed van x/L op C_T en C_R .

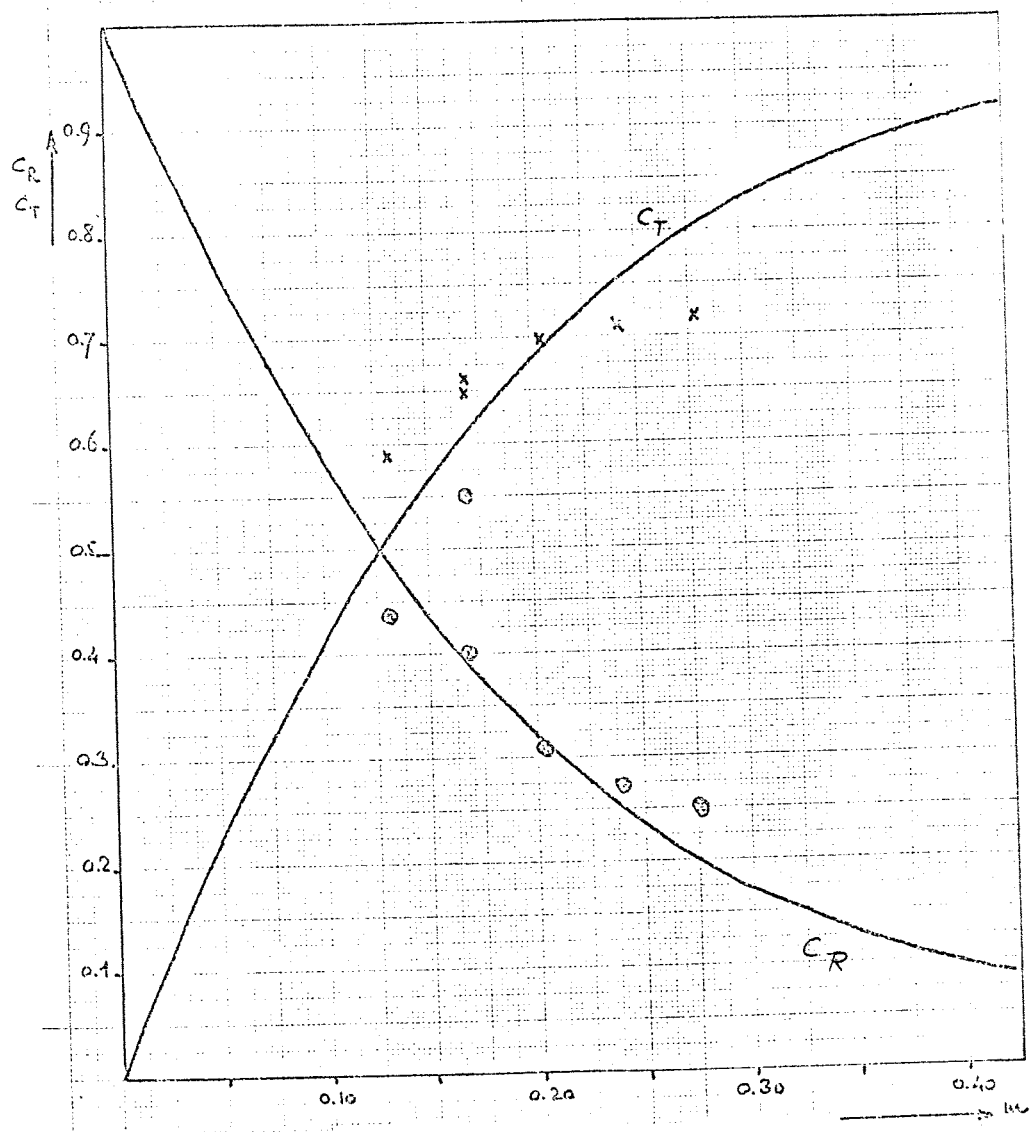


Fig. 4.3.4.1. C_T en C_R als functie van m bij $H_i/L = 0.064$.

De werking van zo'n wand berust op de volgende principes:

- Er wordt een gedeelte van de golven teruggekaatst.
- Er wordt energie gedissipeerd doordat zich jets vormen die via turbulente snelheidsuitwisseling hun energie dissiperen (figuur 4.3.4.2).

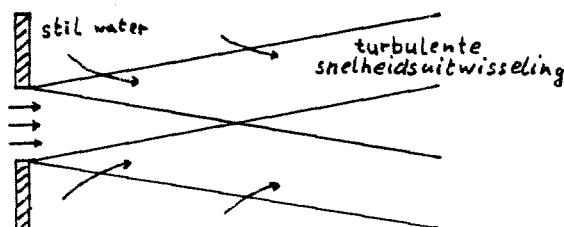


Fig. 4.3.4.2. Energiedissipatie door snelheidsuitwisseling.

Ook Kakuno [1983] heeft een situatie met relatief dunne platen onderzocht. Verder heeft hij de transmissie bepaald van rijen ovale en rechthoekige cilinders. Uitgaande van de potentiaaltheorie heeft hij formules bepaald voor de reflectie- en transmissiecoëfficiënt.

$$C_T = \sqrt{\frac{1}{k^2 C^2 + 1}} \quad , \quad C_R = \sqrt{\frac{k^2 C^2}{k^2 C^2 + 1}}$$

k = golfgetal ($= 2\pi/L$, L = golflengte)

C = coëfficiënt waarmee de mate van blokkering wordt aangegeven.

De waarde van C is afhankelijk van de paalvorm:

- Dunne planken: $C = -\frac{e}{\pi} \log \sin(\frac{\pi}{2} \frac{s}{e})$
- Cirkels : $C = \frac{e}{2} (1 - \frac{s}{e}) \cot(\frac{\pi}{2} \frac{s}{e})$
- Rechthoeken : $C = \frac{b}{2} (\frac{1}{\varepsilon} - 1) + \frac{e}{\pi} (1 - \log 4\varepsilon + \frac{1}{3} \varepsilon^2 + \frac{2b^2}{10b} \varepsilon^4)$

$\varepsilon = \frac{2a}{D}$, b = breedte van de paal

Voor s en e zie de definitieschets (figuur 4.3.4.3).

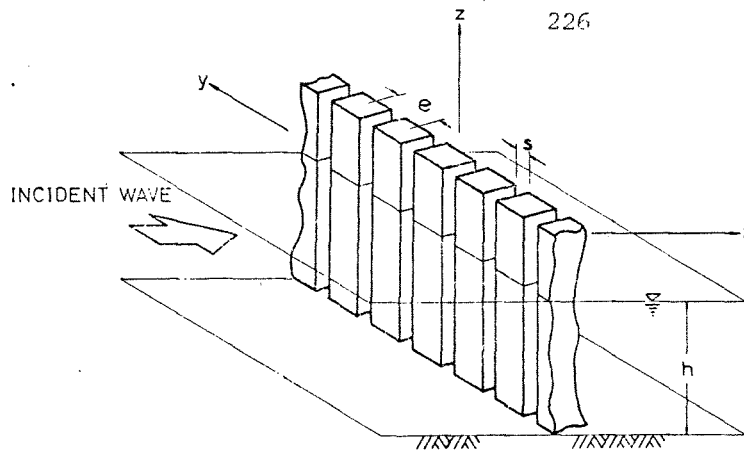


Fig. 4.3.4.3. Definitieschets van een palenrij.

Kakuno's resultaten zijn weergegeven in figuur 4.3.4.4

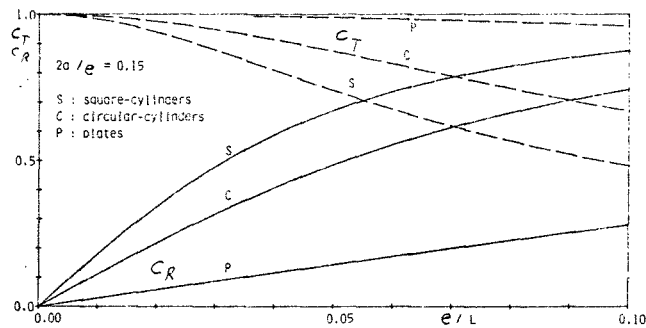


Fig. 4.3.4.4. C_T en C_R voor 3 typen palenrijen ($2a/e = 0.15$).

Uit figuur 4.3.4.4 blijkt dat zowel een grotere breedte als scherpere hoeken de transmissiecoëfficiënt kleiner maken: palen met een rechthoekige vorm geven de laagste transmissie.

Grüne en Kohlhasse [1974] hebben naast de invloed van de paalvorm en het openingspercentage, ook de invloed van de golfinvalshoek op de transmissiecoëfficiënt bepaald (figuren 4.3.4.5 t/m 4.3.4.11).

Voor de transmissiecoëfficiënt komen zij tot de volgende empirische relatie:

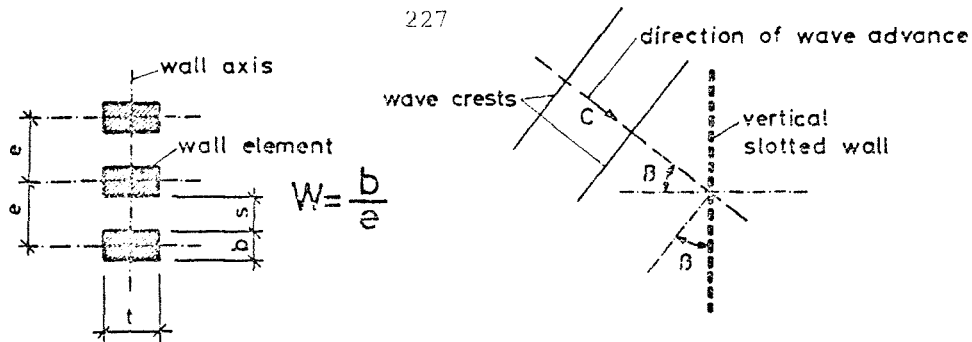
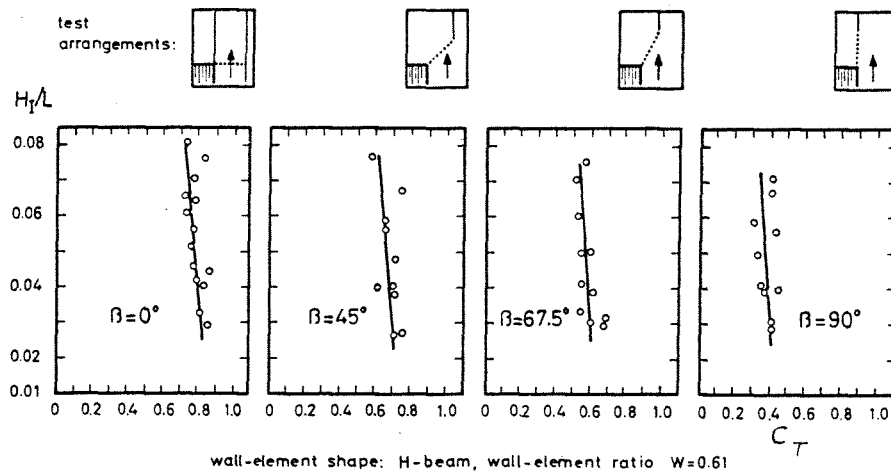
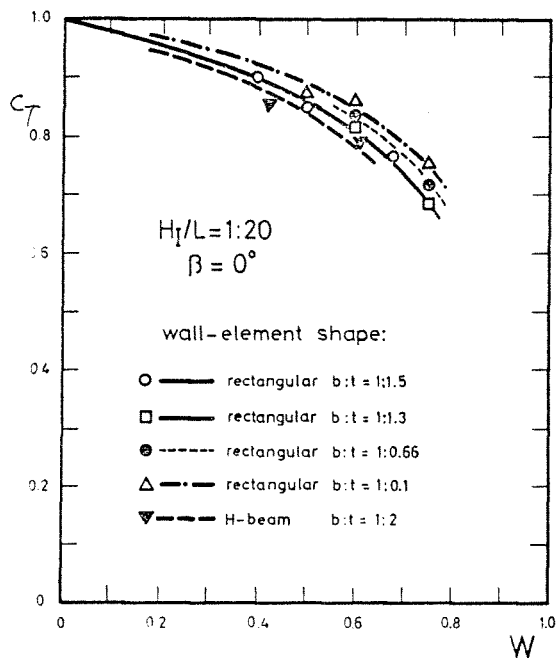
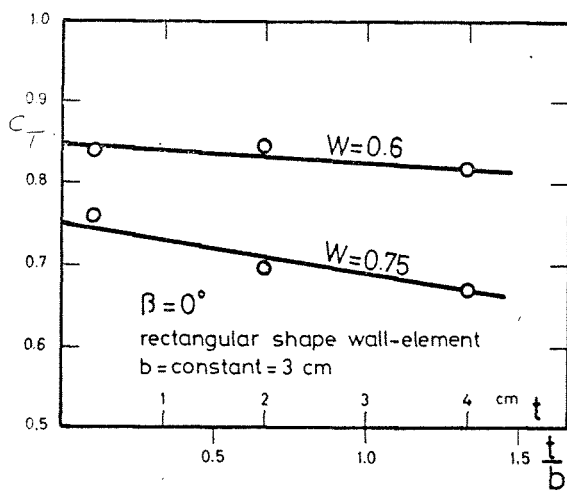
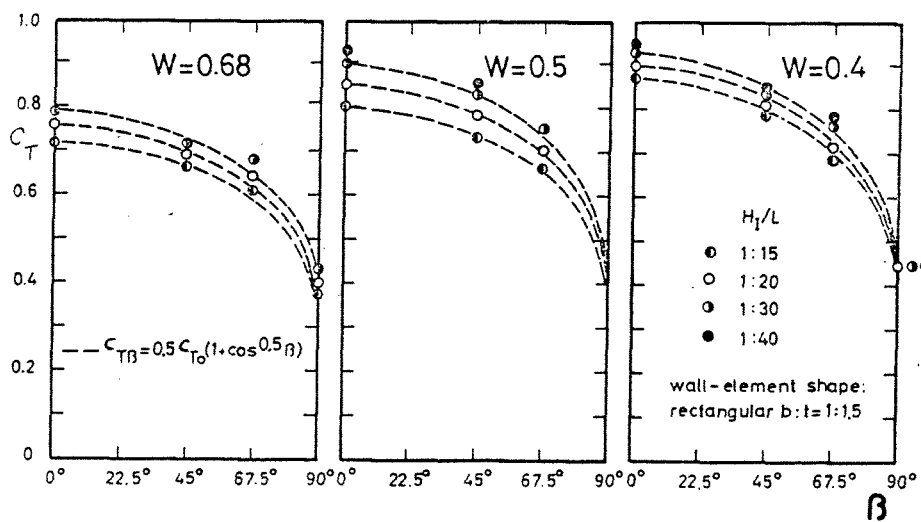


Fig. 4.3.4.5. Definitieschets.

shape of the wall-element	rectangular b:t = 1:0.1			rectangular b:t = 1:1.5			rectangular b:t =		rectangular b:t =		H-beam b:t=1:2	
Dimensions [cm]							1:0.75	1:0.5	1:0.66	1:1.33		
W	0.5	0.6	0.75	0.4	0.5	0.68	0.68		0.6	0.75	0.425	0.61

Fig. 4.3.4.6. Factor W.

Fig. 4.3.4.7. C_T als functie van de golfsteilheid.

Fig. 4.3.4.8. C_T als functie van W .Fig. 4.3.4.9. C_T als functie van de balkdikte t .Fig. 4.3.4.10. C_T als functie van de golfvoorplantingsrichting.

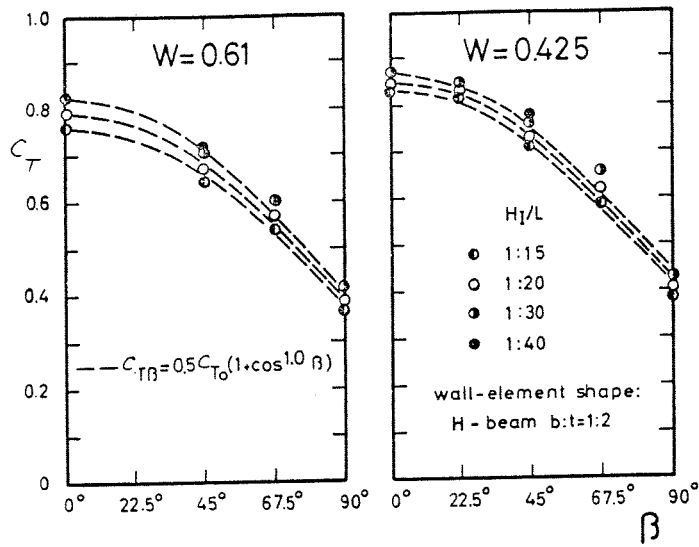


Fig. 4.3.4.11. C_T als functie van de golfvoortplantingsrichting.

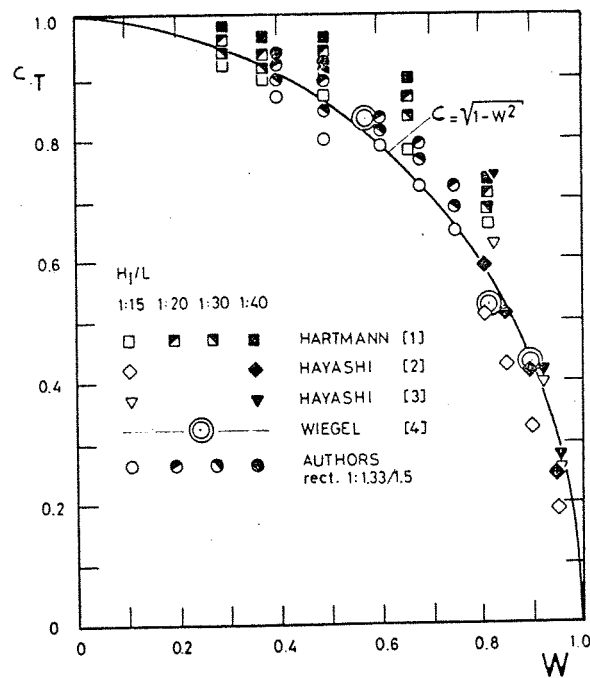


Fig. 4.3.4.12. Vergelijking van de resultaten voor $\beta = 0$.

$$C_{T\beta} = 0,5 C_{T0} (1 + \cos^a \beta).$$

met $C_{T\beta}$ = transmissiecoëfficiënt voor willekeurige golfrichting
 C_{T0} = transmissiecoëfficiënt voor golfrichting $\beta = 0^\circ$
 a^0 = vormcoëfficiënt voor een rechthoek ($b/t = 1/1,5$) : $a = 0,5$
 voor een H-balk ($b/t = 1/2$) : $a = 1,0$

Voor $\beta = 0^\circ$ hebben Grüne en Kohlhasse een vergelijking gemaakt met de resultaten van andere onderzoekers (figuur 4.3.4.12). De in de figuur vermelde Hartmann kwam tot de relatie $C = \sqrt{1 - w^2}$, wat goed overeenstemt met de experimentele resultaten (w = paalbreedte/h.o.h. paalafstand).

De conclusies van Grüne en Kohlhasse zijn

- Voor de golfrichting $\beta = 0^\circ$ is de transmissiecoëfficiënt slechts in geringe mate afhankelijk van de relatieve waterdiepte d/L en de dikte van de wandelementen.
- Belangrijke factoren zijn, naast de golfsteilheid H/L en de elementvorm, de golfrichting β en de mate van blokkering w van het doorstroomprofiel.
- Voor golfrichting $\beta > 0^\circ$ is de invloed van de elementvorm groter dan voor de richting $\beta = 0^\circ$.
- Voor golfrichtingen $0^\circ \leq \beta \leq 90^\circ$ worden de testresultaten goed beschreven door: $C_{T\beta} = 0,5 C_T (1 + \cos^a \beta)$.
- Uitgaande van de formule van Hartmann kan de transmissiecoëfficiënt voor een willekeurige golfrichting worden bepaald met:
 $C_T = 0,5 \sqrt{1 - w^2} (1 + \cos^a \beta)$.

4.3.5 Vergelijking van een aantal verticale constructies

Ter vergelijking van de golfdempende eigenschappen zijn in figuur

4.3.5.1 nogmaals de transmissiecoëfficiënten van een aantal constructies weergegeven:

- I - Een wand tot op de bodem met horizontale spleten.
- II - Een wand tot op de bodem met verticale spleten (volgens Prager).
- III - Een wand tot op de bodem met horizontale spleten (volgens Hartmann: $C = \sqrt{1 - w^2}$).

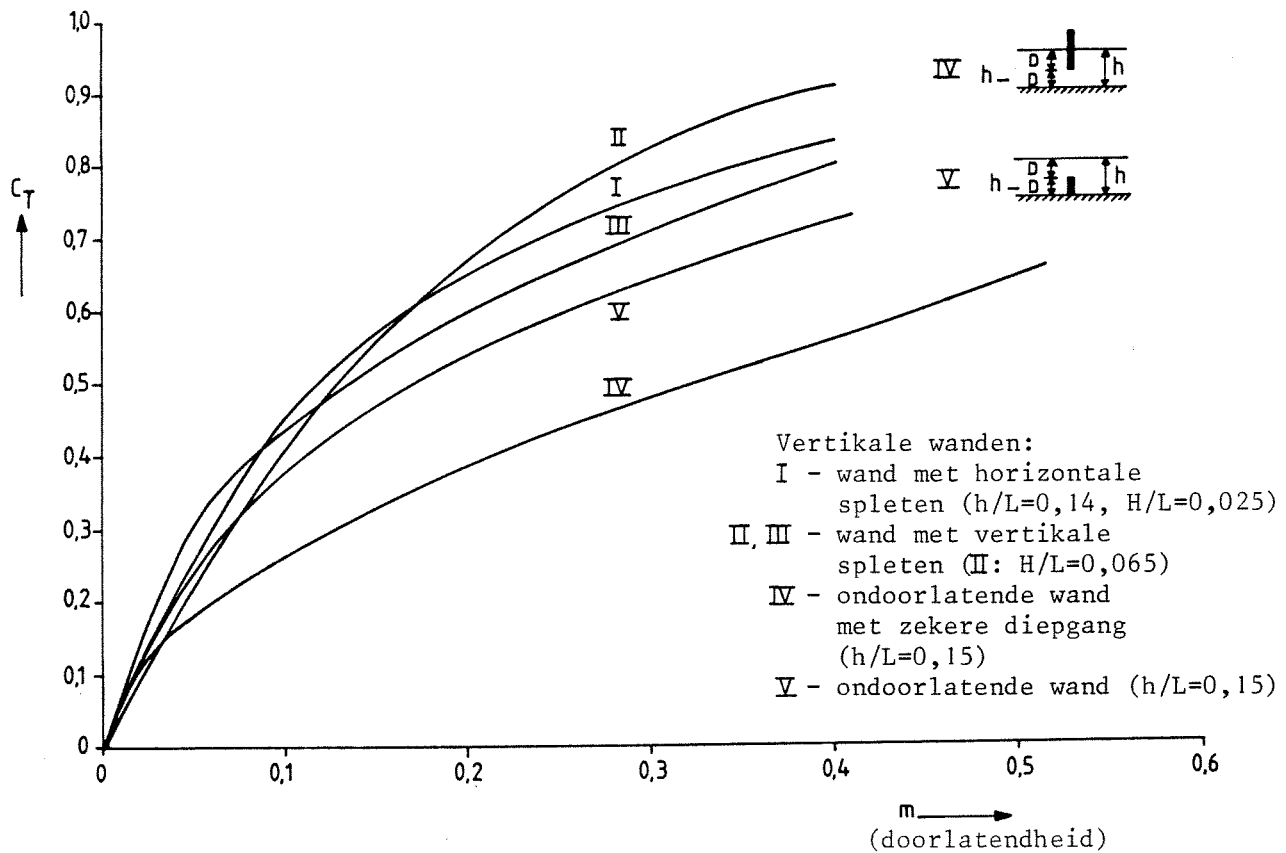


Fig. 4.3.5.1. C_t - waarden van een aantal verticale constructies.

- IV - Een dichte wand met zekere diepgang (diepgang = D , waterdiepte = h , $m = 1 - D/h$).
- V - Een dichte wand met aan de bovenkant een opening (hoogte opening = $h - D$, waterdiepte = h , $m = D/h$).

Uit de figuur blijkt dat het weinig verschil maakt of de wand verticale of horizontale spleten heeft.

Voor dezelfde openingspercentages geven zowel de "wand bij de bodem" als de "wand bij het wateroppervlak" betere golfdempende resultaten te zien dan de wanden met spleten (Alleen bij erg kleine openingspercentages zijn er nauwelijks verschillen). Bij dergelijke dichte wanden speelt de reflectie een grote rol. Blijkbaar vormt reflectie een effectiever golfdempend mechanisme dan turbulente jetwerking. Dat neemt niet weg dat de turbulente jetwerking ook een redelijke golfdemping veroorzaakt.

4.4 Drijvende prismatische constructies

Drijvende prismatische constructies zijn vanwege hun eenvoudige vorm vaak gebruikt in theoretische beschouwingen en in model- en prototype proeven. In het vorige hoofdstuk is één en ander uitvoerig aan de orde geweest.

In het kort volgen hier de belangrijkste kenmerken van dergelijke golfdempende constructies. De golfdempende werking verbetert t.g.v.:

- een grotere breedte
- een grotere diepgang
- een grotere massa
- scherpere randen
- een eigentrillingsperiode van de verankerde constructie die ligt in de buurt van de optredende golffrequenties
- meerdere objecten achter elkaar

De verankeringskrachten nemen toe t.g.v.:

- meer reflectie door een grotere diepgang
- een stijvere verankering
- een kleinere constructielengte (= de constructie-afmeting loodrecht op de golfvoortplantingsrichting).

De verankeringskrachten kunnen het vooral zwaar te verduren hebben in de situatie dat de golfperiodes in de buurt van de eigentrillingsperiode van de constructie liggen.

4.5 Vlotten

Vlotten, constructies waarbij de golfdempende werking vooral op het onderdrukken van de verticale golfbeweging berust, zijn in het vorige hoofdstuk uitgebreid aan de orde geweest.

In principe wordt de golfdempende werking beter door dezelfde aanpassingen genoemd in paragraaf 4.4.

Een voordeel van een vlot boven een prismatische constructie met een relatief geringe breedte, is het grotere massatraagheidsmoment: daardoor is enerzijds de transmissiecoëfficiënt van een vlot kleiner en zijn anderzijds de verankeringskrachten van een vlot, relatief gezien, kleiner.

De golfdempende werking neemt toe naarmate de constructie stijver wordt. Dat is o.a. aangetoond in tests met een zgn. "Strake & Boom" golfdempende constructie: een constructie bestaande uit in de golfvoortplantingsrichting geplaatste balken (strakes) die aan de uiteinden verbonden zijn met dwars erop geplaatste balken (booms). De invloed van de stijfheid is weergegeven in figuur 4.5.1 (Harris & Sutherland [1974]). Ook de invloed van de golfinvalshoek op de golfdemping is door Harris & Sutherland onderzocht. Resultaten daarvan zijn weergegeven in figuur 4.5.2.

Uit de figuren 4.5.1 en 4.5.2 valt op te maken dat een dergelijke constructie vooral effectief dempt als de verhouding constructiebreedte/golflengte groter is dan 1 in het geval van slappe constructies en groter dan ca. 0,5 in het geval van stijve constructies. Iets dergelijks volgt ook uit figuur 3.5.3.

Een toenemende hoek tussen golven en constructie zorgt voor een toenemende golfreductie. Dat is o.a. een gevolg van het toenemen van de effectieve breedte (figuur 4.5.3). $B_{\text{eff}} = \frac{B}{\cos \theta}$.

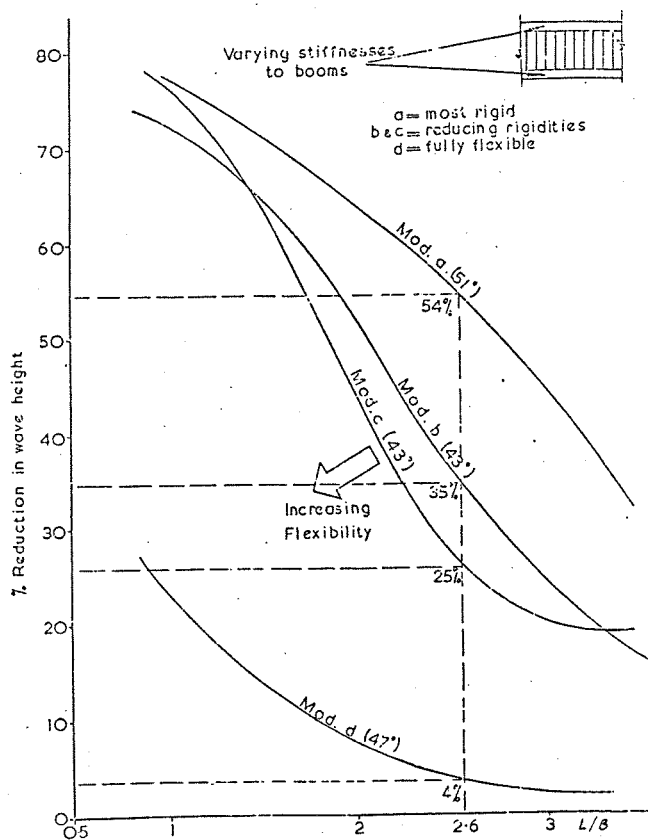


Fig. 4.5.1. Golfreductie als functie van L/B.

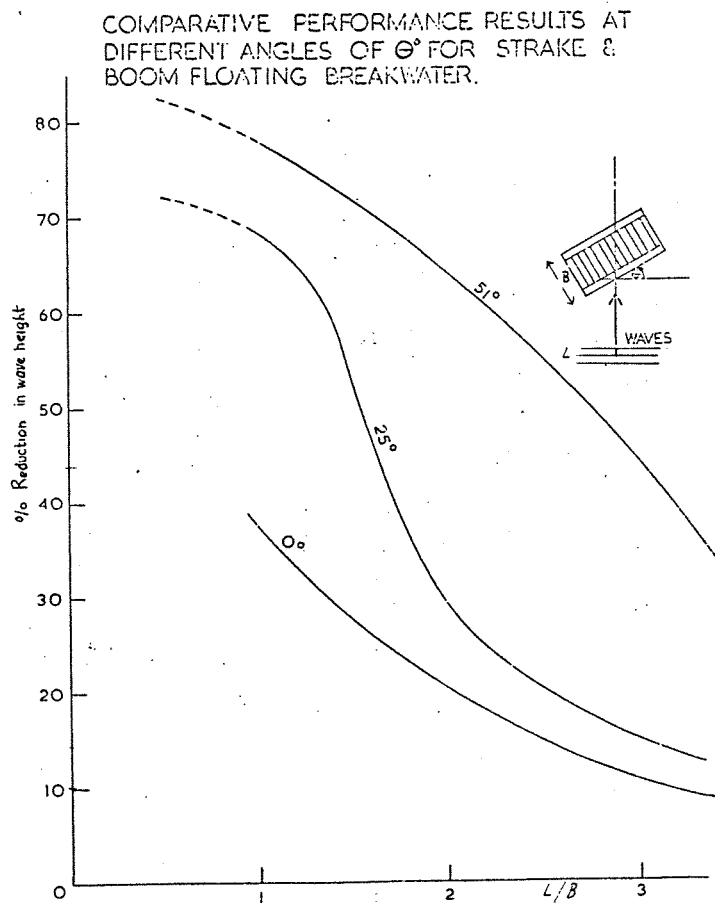


Fig. 4.5.2. Golfreductie als functie van L/B.

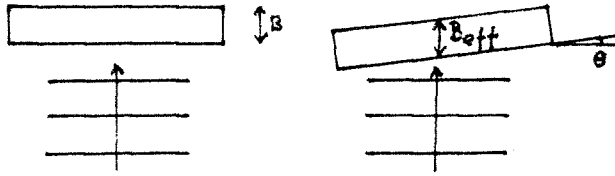


Fig. 4.5.3. Effectieve constructiebreedte.

Uitgaande van de betere golfdempende resultaten voor grotere θ is de zgn. Delta Wing Breakwater ontwikkeld. In figuur 4.5.4 is de totstandkoming van het uiteindelijke model weergegeven. Men is overgegaan van het "Strake & Boom"-type op een stijve dichte plaat, vanwege de betere golfdempende eigenschappen. Het uiteindelijke model is gekozen en de volgende redenen:

- het model heeft de grootste dynamische stabiliteit
- het model heeft de beste golfdempende eigenschappen
- er kunnen meerdere elementen gekoppeld worden
- de ankerkrachten zijn klein: de grootte-orde is dezelfde als van een standaard golfdempende constructie: ca. 1% van het constructiegewicht.

In figuur 4.5.5 zijn enkele testresultaten weergegeven.

Naast de grotere effectieve breedte is er nog een factor die zorgt voor een geringere transmissie: door het scheef invallen van de golven neemt de hoeveelheid golfenergie af die de constructie, per lengte-eenheid, te verwerken krijgt.

Dat is als volgt te verklaren: de golfenergie in golven met een golfhoogte H is per eenheid van wateroppervlakte $E = 1/8 \rho g H^2$. Dat betekent dat een constructie met een lengte $l = 1$ aan energie per golf $E = 1/8 \rho g H^2$ te verwerken krijgt in het geval van loodrecht inkomende golven (figuur 4.5.6).

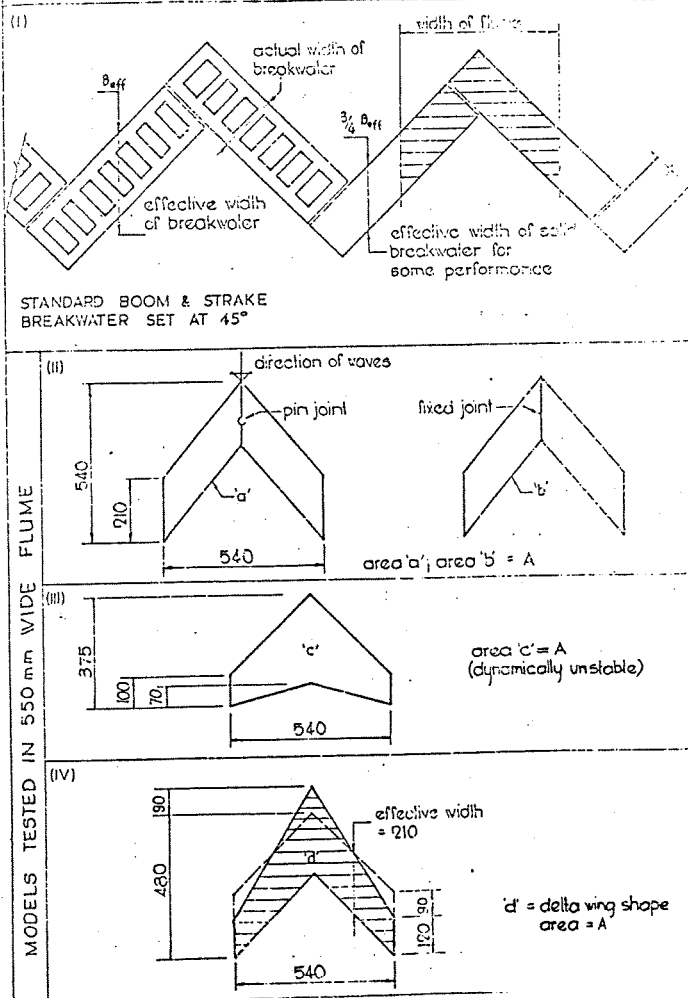


Fig. 4.5.4. Ontwikkeling van de "Delta-Wing"

PERFORMANCE TESTS ON DELTA-WING BREAKWATER AT IMPERIAL COLLEGE NOVEMBER 1973

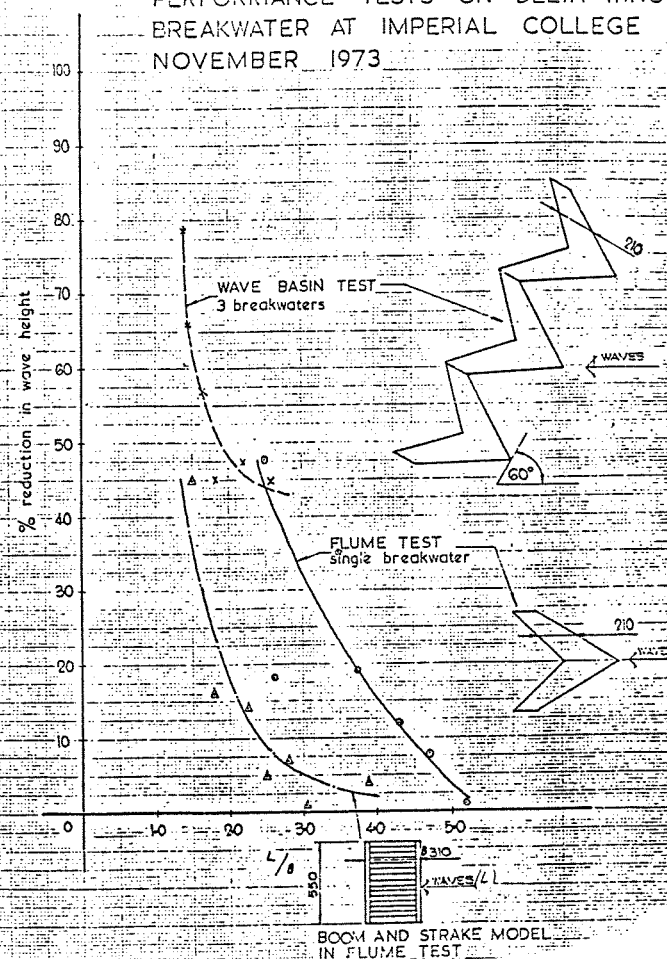


Fig. 4.5.5. Gedrag van de "Delta-Wing".

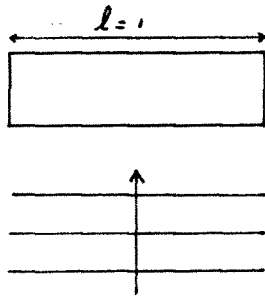


Fig. 4.5.6. Loodrecht invallende golven.

Voor golven die onder een hoek θ de constructie bereiken is de te verwerken hoeveelheid energie $E = 1/8 \rho g H^2 \cos \theta$ (figuur 4.5.7).

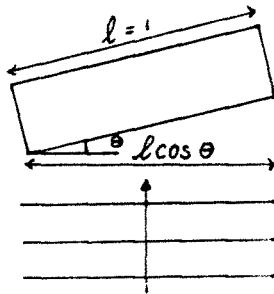


Fig. 4.5.7. Scheef invallende golven.

Het is alsof de constructie golven moet dempen met een equivalente golfhoogte $H \sqrt{\cos \theta}$ (de energie in golven met die equivalente hoogte is:

$$E = 1/8 \rho g (H \sqrt{\cos \theta})^2).$$

Naast de hiervoor genoemde oorzaken, een grotere constructiebreedte en een kleinere hoeveelheid energie per lengte-eenheid van de constructie, zal ook het bewegingspatroon van de constructie bij scheef invallende golven invloed hebben op de golfdemping. Wat die invloed is, is moeilijk te zeggen, omdat het 3-dimensionale bewegingspatroon erg ingewikkeld is (6 vrijheidsgraden).

4.6 Catamarans

Een catamaran heeft door zijn massaverdeling een langere rolperiode en een grotere stabiliteit dan een prismatisch object met dezelfde massa. Zoals al eerder is aangetoond, is dit gunstig voor de golfdemping: de transmissiecoëfficiënt neemt erdoor af. Verder zorgt de geometrie van een catamaran voor nog meer demping:

- door de extra hoeken aan de constructie ontstaan extra zones waar energieverlies optreedt
- de watermassa tussen de drijflichamen zorgt voor extra demping: de meebewegende watermassa, en daardoor de totale massa, neemt toe.

In figuur 4.6.1 is de transmissiecoëfficiënt als functie van de verhouding golflengte/waterdiepte (L/h) weergegeven (Brebner en Ofuya [1968]).

Voor dezelfde constructie zijn in figuur 4.6.2 de verankeringskrachten weergegeven.

Uit de figuren blijkt dat voor toenemende golflengten de transmissiecoëfficiënt toeneemt, terwijl de krachtcoëfficiënt (dimensieloos gemaakte kracht) afneemt. De kracht zelf neemt wel toe. Dat is in te zien m.b.v. figuur 4.6.2: in de dimensieloze krachtcoëfficiënt komen zowel de golfhoogte (H_i^2) en de golflengte (L) van de inkomende golven voor, en wel in de noemer. Dat betekent, dat voor het berekenen van de kracht F (m.b.v. figuur 4.6.2) de krachtcoëfficiënt vermenigvuldigd moet worden met H_i^2 en L . Met toenemende golflengte L neemt, in het algemeen, ook de golfhoogte H_i toe en dus ook de kracht. Dus: de krachtcoëfficiënt neemt af, maar de kracht zelf neemt toe.

4.7 A-frames

A-frames combineren een 2-tal eigenschappen, enerzijds zijn ze uitgerust met 2 ver uit elkaar geplaatste drijvers voor stabiliteit en een lange rolperiode en anderzijds benutten ze een verticale wand voor golfreflectie (figuur 4.7.1).

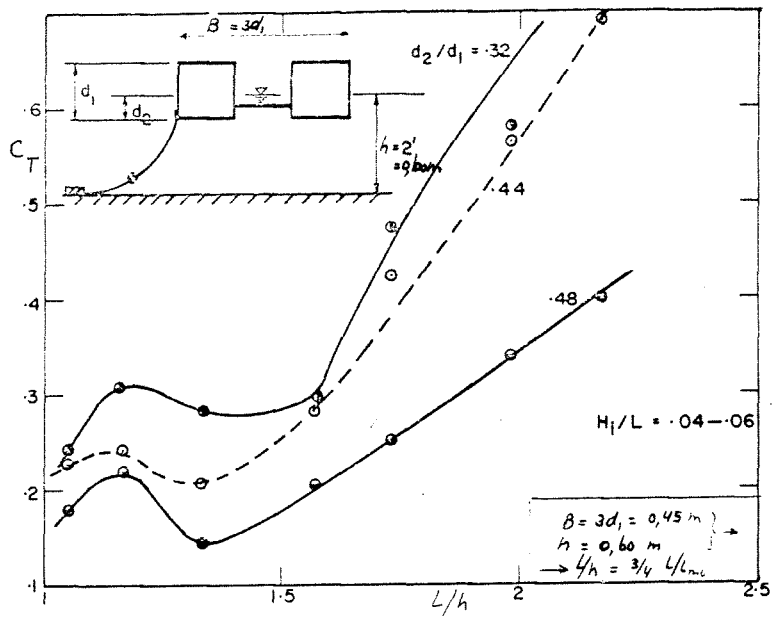
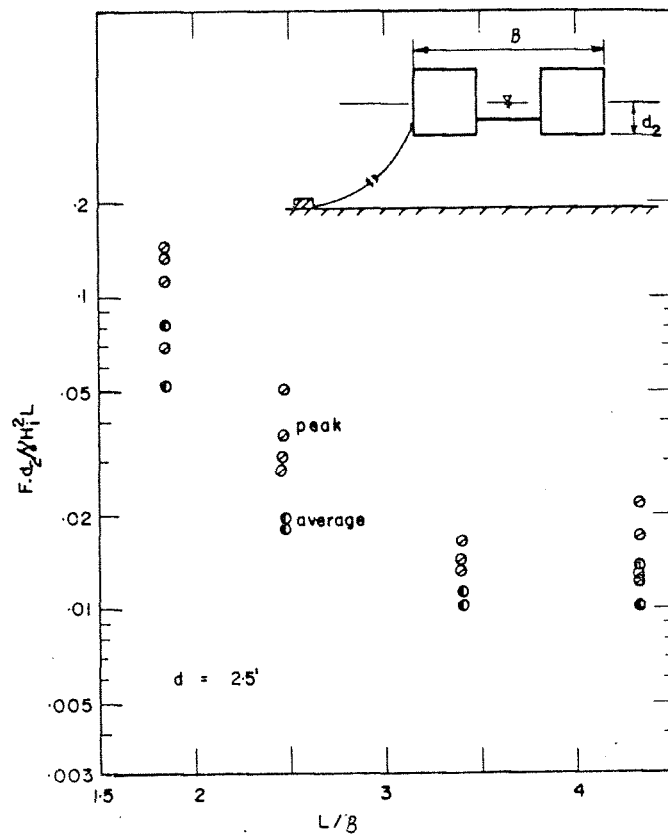


Fig.4.6.1.



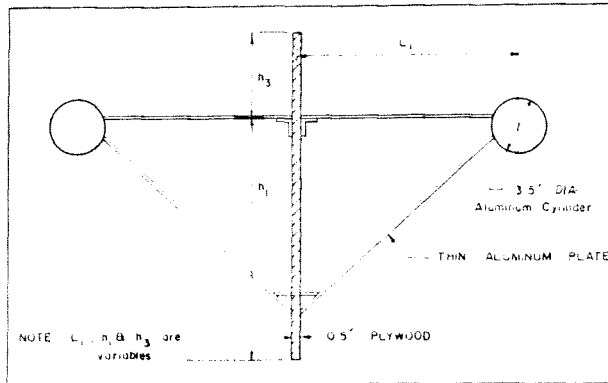


Fig. 4.7.1. A - frame

In de figuren 4.7.2 t/m 4.7.5 is de invloed van de golfsteilheid, de golffrequentie (cq. de golflengte), de diepgang en het massatraagheidsmoment op de transmissiecoëfficiënt weergegeven (Brebner en Ofuya [1968]).

In het algemeen neemt de transmissiecoëfficiënt af voor toenemende golfsteilheid H_1/L , evenals voor afnemende dimensieloze golfperiode L/L_1 (L_1 = halve constructielengte, zie figuur 4.7.1). De enige onregelmatigheid treedt op voor golfperiodes in de buurt van de eigentrillingsperiode van het A-frame: dan treedt extra demping op. Verder zorgen grotere constructieafmetingen (grotere diepgang en grotere lengte L_1) eveneens voor een afname van de transmissiecoëfficiënt. De invloed van L_1 komt vnl. voort uit een toename van het massatraagheidsmoment (figuur 4.7.5).

In figuur 4.7.4 is ter vergelijking ook de transmissiecoëfficiënt van een vaste verticale plaat weergegeven. Het blijkt dat voor waarden van L/L_1 tussen 2 en 4 de transmissiecoëfficiënten van beide constructies dicht bij elkaar in de buurt liggen. Opgemerkt dient te worden, dat de gunstige resultaten van het A-frame voornamelijk voor diep water condities gelden (figuren 4.7.3 t/m 4.7.5).

In figuur 4.7.6 is weergegeven hoe de energie van de inkomende golven door de constructie verwerkt wordt. Het blijkt dat het minimum van de transmissie in de buurt van $L/L_1 = 2$ voornamelijk een gevolg is van een

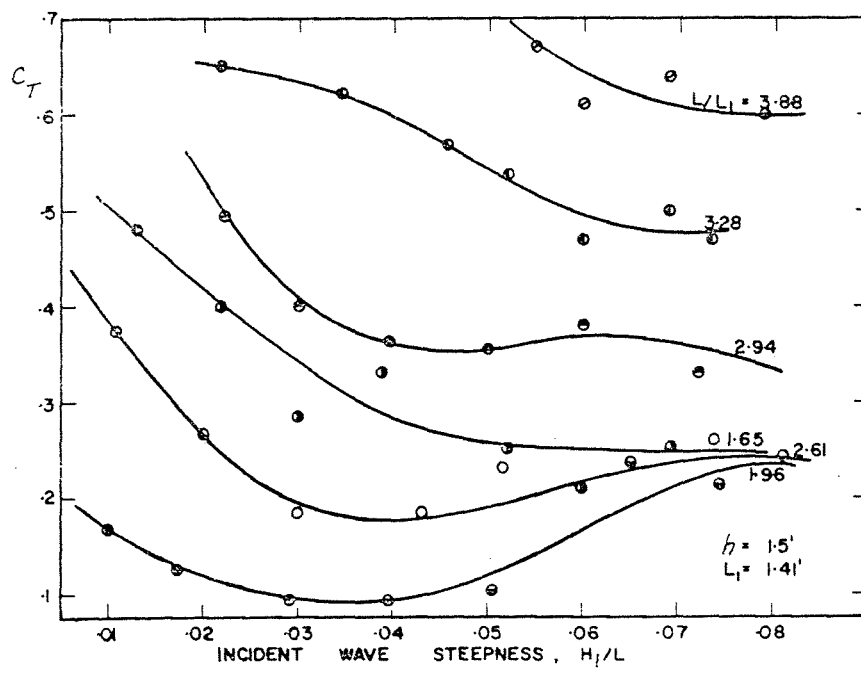


Fig. 4.7.2. Invloed van de golfsteilheid.

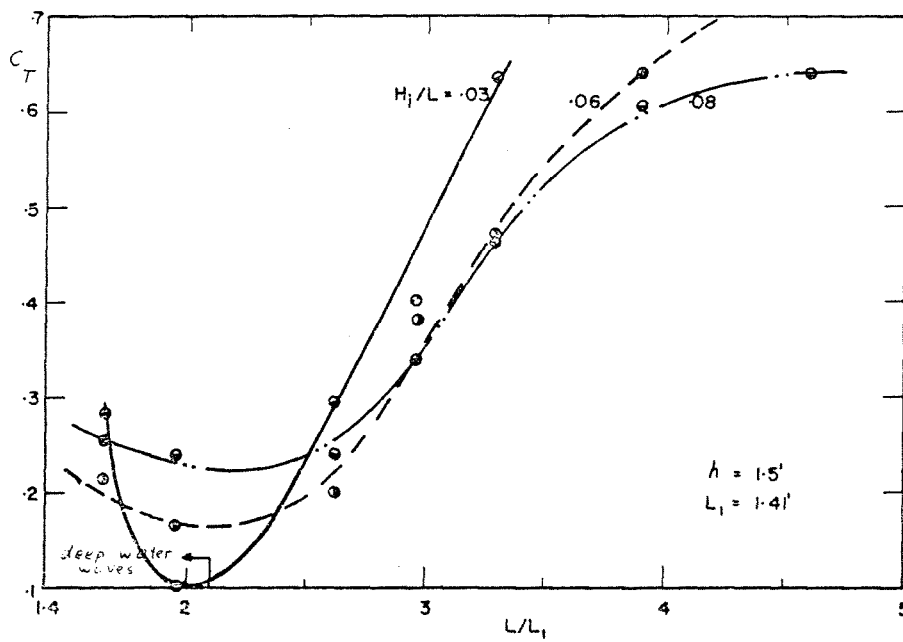


Fig. 4.7.3. Invloed van de frequentie.

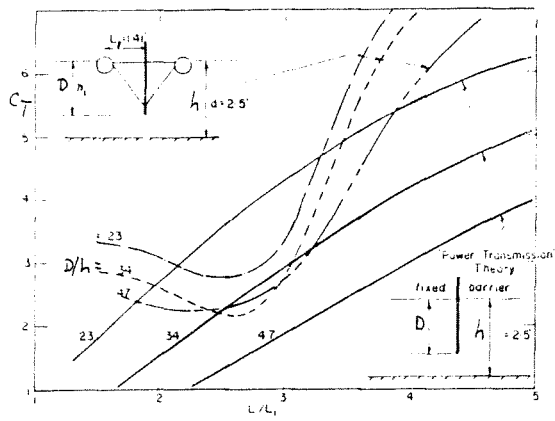


Fig. 4.7.4. Vergelijking tussen A - frame en vaste plaat.

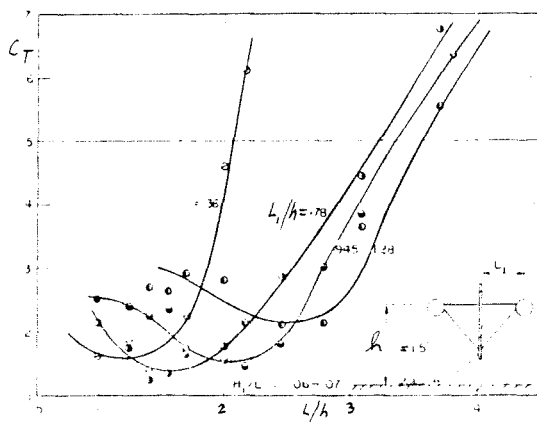


Fig. 4.7.5. Invloed van massatraagheidsmoment ($h=1,5'$)

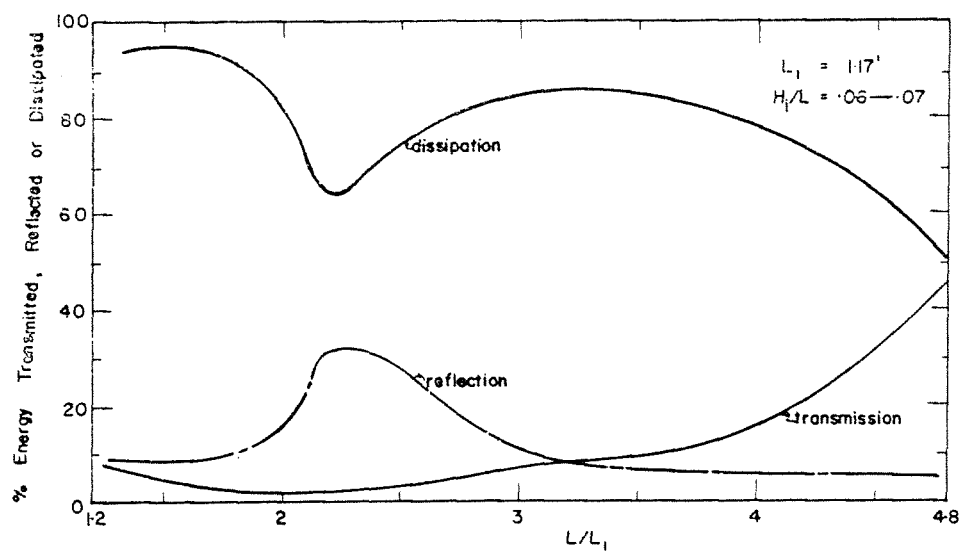


Fig. 4.7.6. Energie balans.

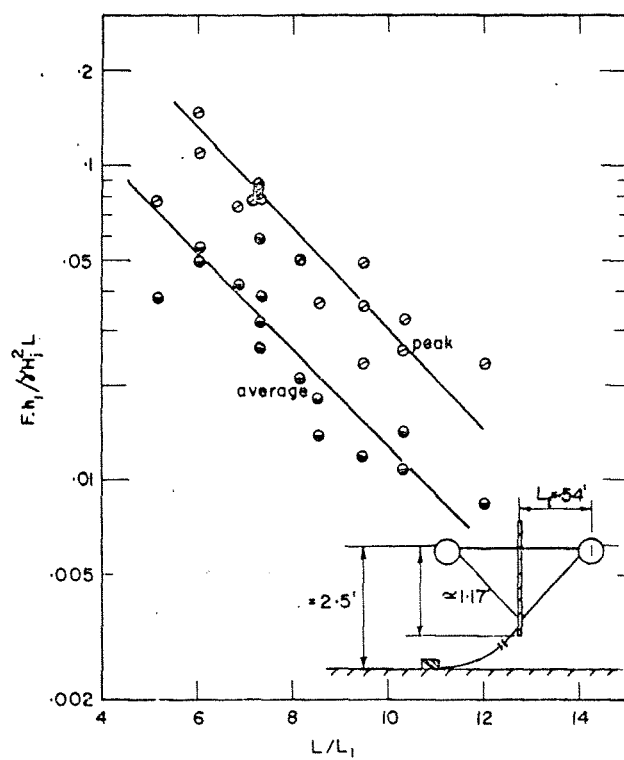


Fig. 4.7.7. Piek- en gemiddelde verankeringskracht.

grote reflectie. Het positieve effect van de reflectie is groter dan het negatieve effect van de verminderde dissipatie. De dissipatie - energieverlies door turbulentie en viscositeit - is vooral een gevolg van het feit dat de inkomende golven door de aanwezigheid van de voorste cilinder steiler worden en daardoor gedeeltelijk gaan breken (Ofuya [1968]).

Verankeringskrachten zijn in figuur 4.7.7 weergegeven.

De verankeringskrachten kunnen geminimaliseerd worden door een geschikt verankeringsaangrijpingspunt te kiezen.

4.8 Drijvende flexibele constructies

Net als van een vlot is de karakteristieke afmeting van een flexibele constructie de breedte. Wat een flexibele constructie van een vlot onderscheidt is het golfdempingsmechanisme. Het dempen is niet een gevolg van reflectie, maar van omzetting van de orbitaalbeweging in turbulentie en van vervorming van de constructie (inwendige wrijving). Zie ook figuur 3.5.9.

Constructies uit deze groep zijn o.a. drijvende matten, drijvende met vloeistof gevulde zakken en samenbundelingen van autobanden.

4.8.1 Drijvende, met water gevulde zakken

Het golfdempende gedrag van 2 op elkaar geplaatste, met water gevulde zakken is weergegeven in figuur 4.8.1.1 (Wiegel [1960]). De golfdamping is goed als de constructielengte groter is dan 2 maal de golflengte. Dat is ook geconstateerd door Frederiksen [1971].

Volgens Richey en Nece [1974] geven ontwerp- en uitvoeringsproblemen aanleiding om af te zien van dergelijke constructies voor golfdamping.

4.8.2 Drijvende matten

De eerste onderzoeken naar de golfdempende werking van drijvende matten waren vooral theoretisch van aard. Stoker [1966] concludeerde aan de hand van berekeningen dat een elastische vrij drijvende mat met een eindige breedte een grote reflectiecoëfficiënt kan hebben. Echter, een

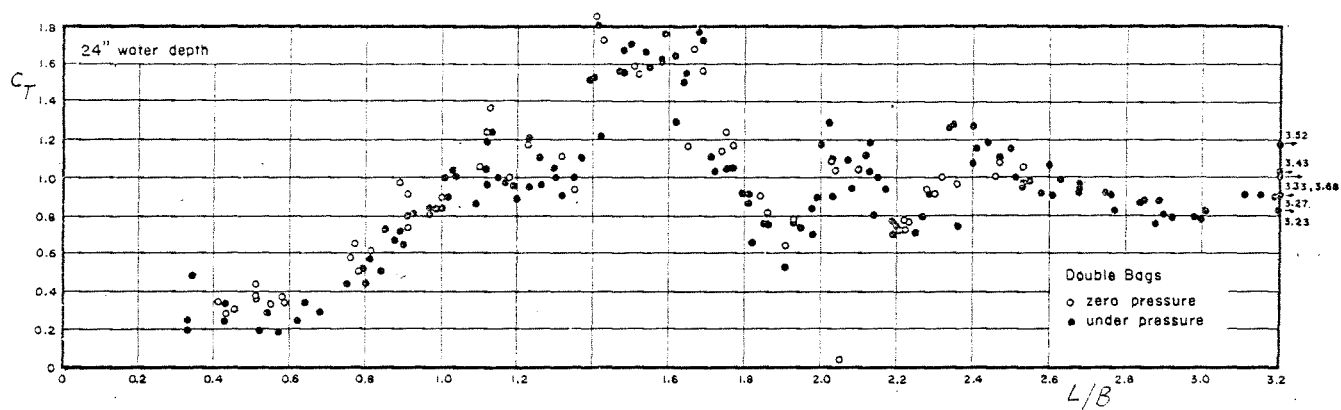


Fig. 4.8.1.1. Transmissiecoëfficiënt van drijvende, met water gevulde zakken.

kleine verandering in de matbreedte geeft een heel andere reflectiecoëfficiënt te zien. Verder werd gevonden dat een mat met een eindige breedte golven effectiever dempt dan een oneindig brede mat. Dit gedrag is een gevolg van meervoudige reflecties optredend aan het eind van de mat die demping veroorzaken.

Uit de resultaten van Stoker's studie zou geconcludeerd kunnen worden dat een dunne lichtgewicht plastic mat ineffectief is als golfdempende constructie. Dit is echter in tegenspraak met de resultaten van experimenten.

Jones [1971] heeft een analyse gemaakt van gegevens van experimenten met drijvende membranen. Deze analyse voor 4 verschillende materialen is weergegeven in de figuren 4.8.2.1 t/m 4.8.2.4.

Uit de figuren blijkt, dat de transmissiecoëfficiënten voor de verschillende materialen behoorlijk kunnen verschillen.

Door Van der Breggen en Bouwmeester [1984] is een theorie ontwikkeld voor een drijvende viscoelastische mat. Zij hebben hun bevindingen gecontroleerd met experimenten, zie de figuren 4.8.2.5 en 4.8.2.6. De mat is samengesteld uit butylrubber en polystyreen.

De resultaten van theorie en experimenten blijken goed overeen te stemmen, met name voor een niet ondergelopen mat.

De reflectiecoëfficiënt blijkt vrij hoog te zijn (figuur 4.8.2.6), wat betekent dat reflectie, naast vervorming van de mat, een belangrijke bijdrage levert aan de golfdemping.

Van het gedrag van de mat zeggen Van der Breggen en Bouwmeester het volgende: Voor kleine golfsteilheden ($H/L < 0,030$) volgde de mat het wateroppervlak goed. Voor grotere golfsteilheden liepen zowel de voor- als de achterkant van de mat onder. De voorkant kwam los van het wateroppervlak als de golven steil en lang waren. Voor korte, steile golven was de stijfheid van de folie zo groot dat de amplitude van de folie steeds kleiner was dan de golfamplitude (figuur 4.8.2.7).

In het algemeen bleven de ankerlijnen slap, hetgeen erop duidt dat de verankeringskrachten erg klein zijn. Alleen als de mat onderliep konden

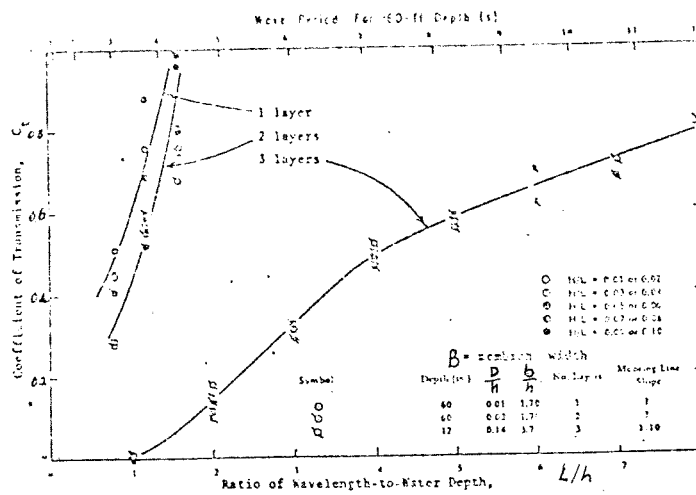


Fig. 4.8.2.1. Invloed van relatieve waterdiepte en golfsteilheid op C_T .

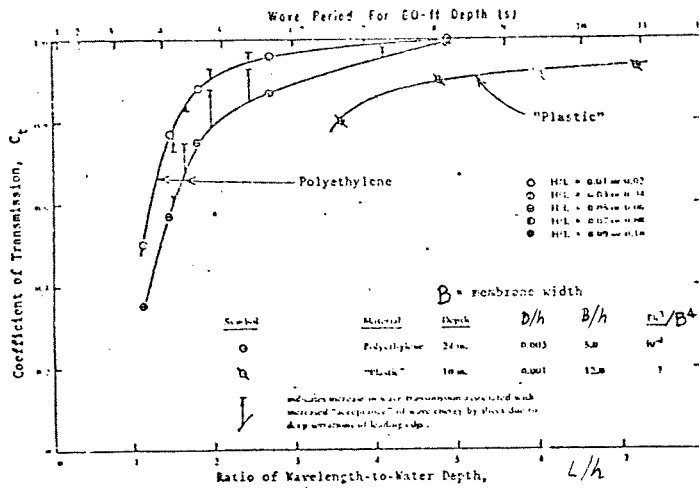


Fig. 4.8.2.2. Invloed van relatieve waterdiepte en golfsteilheid op C_T .

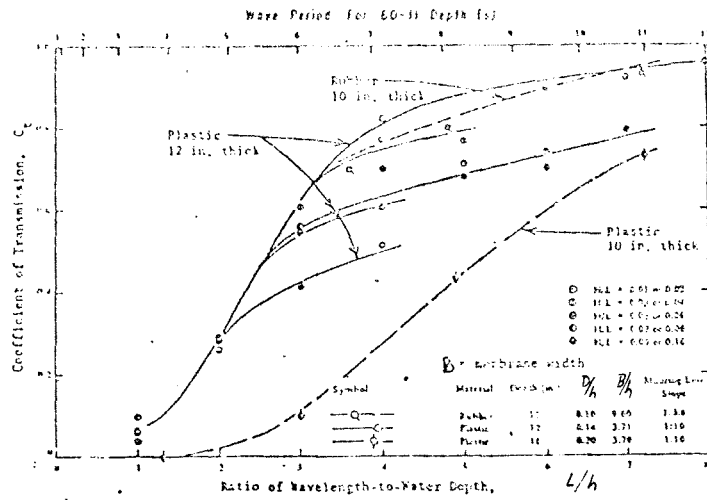


Fig. 4.8.2.3. Invloed van relatieve waterdiepte en golfsteilheid op C_T .

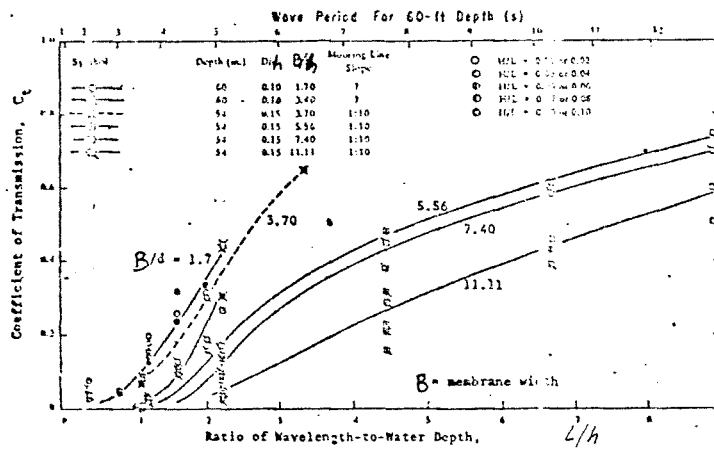


Fig. 4.8.2.4. Invloed van relatieve waterdiepte en golfsteilheid op C_T .

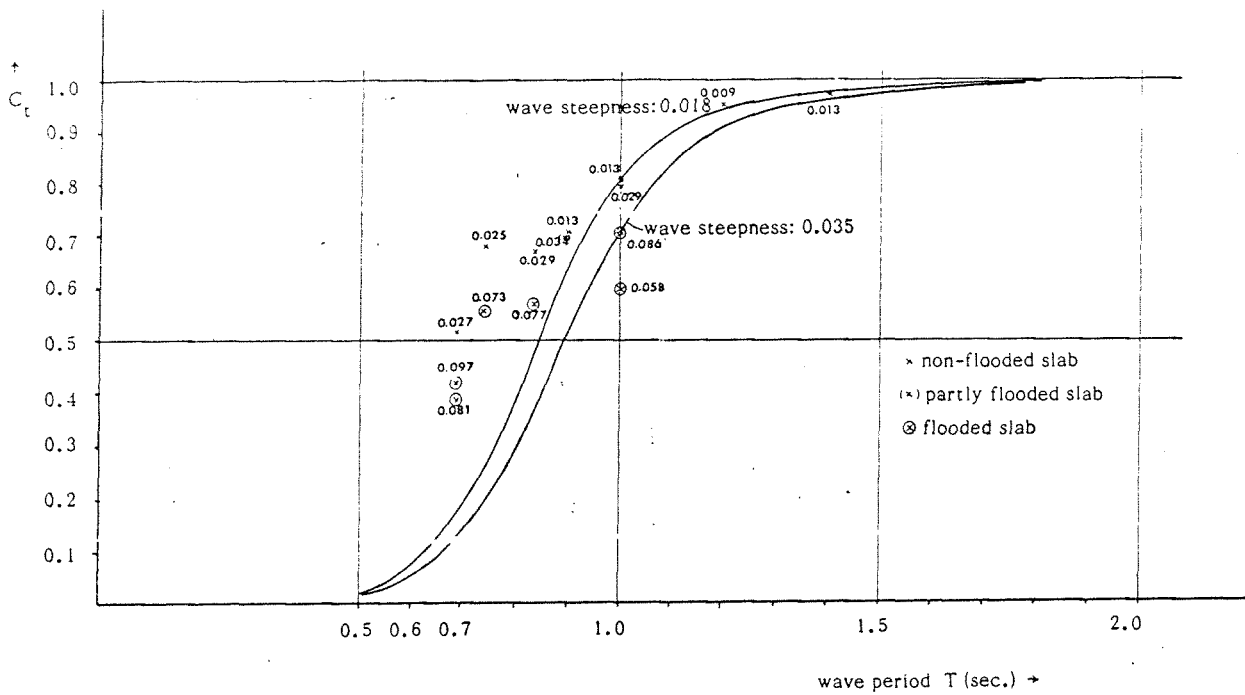


Fig. 4.8.2.5. Gemeten en berekende transmissiecoëfficiënt.

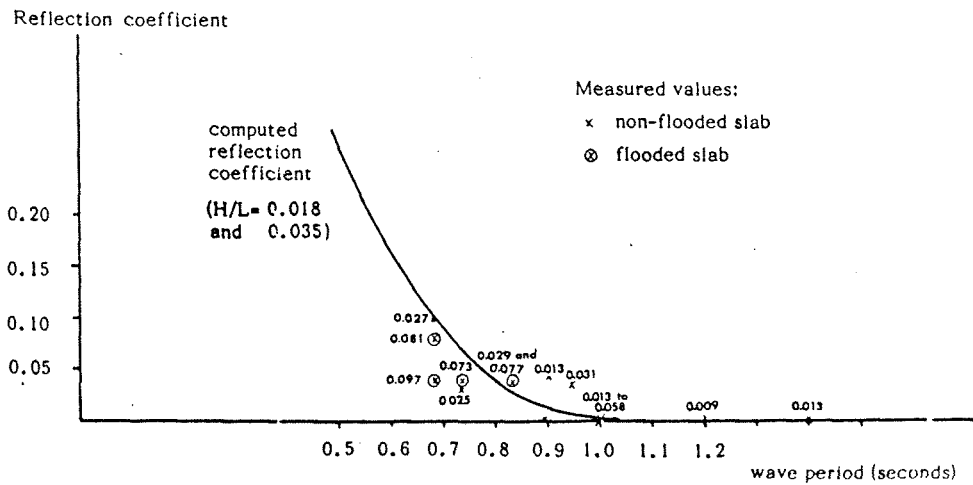
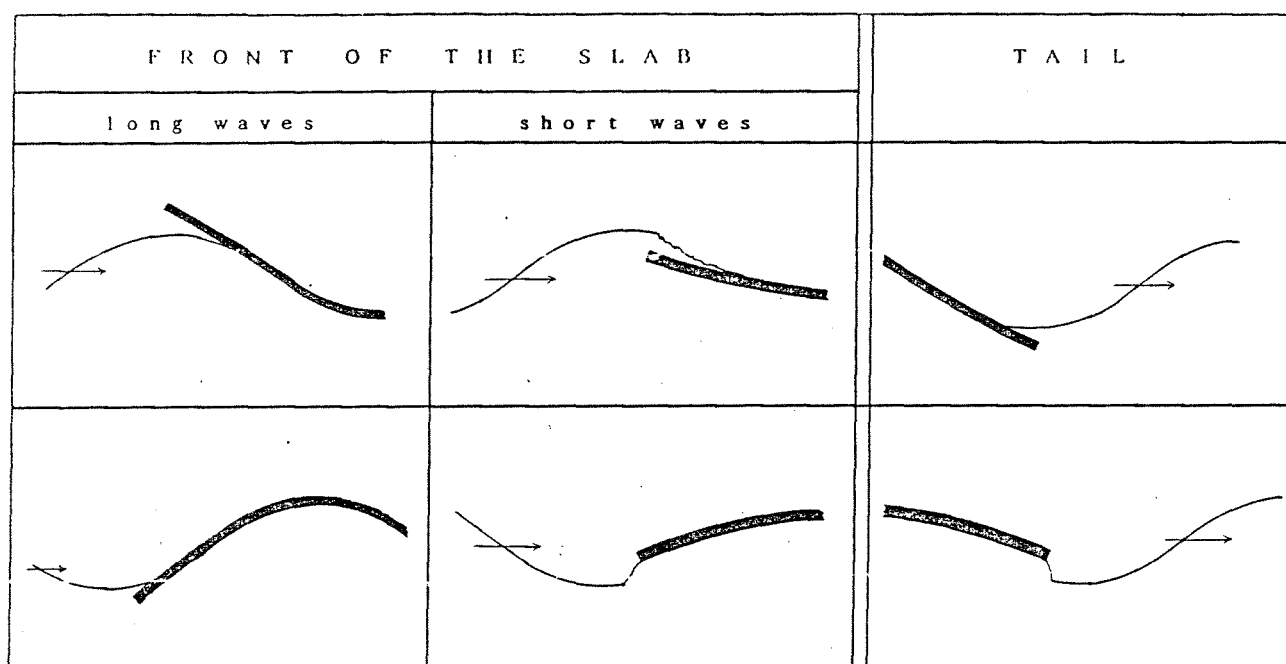


Fig. 4.8.2.6. Reflectiecoëfficiënt.

Behavior of the slab for $H/L > 0.030$ Fig. 4.8.2.7. Gedrag van de mat voor $H/L > 0,03$.

de verankeringskrachten fors oplopen. De grootte van de verankeringskrachten is echter niet vastgesteld. Een probleem bij matten kan de wijze van verankeren zijn.

4.8.3 Drijvende autobanden

Het belangrijkste golfdempende mechanisme van constructies samengesteld uit autobanden is de omzetting van de orbitaalbeweging in turbulentie. Dit gebeurt in en om de vele elementen van de constructie. Verder wordt energie gedissipeerd door vervorming van de constructie.

De mogelijkheid tot vervormen heeft als bijkomend voordeel dat overbelasting niet gauw zal voorkomen.

Een derde dempingsmechanisme, reflectie, treedt alleen op als de constructie een relatief dichte structuur heeft en voldoende diep in het water steekt.

In figuur 4.8.3.1 is een definitieschets gegeven van een drijvende autobanden constructie en in figuur 4.8.3.2 mogelijke samenstellingen van dergelijke constructies.

Harms [1979] heeft 2 typen autobandenconstructies in het laboratorium beproefd: de Goodyear golfbreker (Goodyear Floating Tire Breakwater) en de Wave-Guard golfbreker (Wave-Guard Floating Tire Breakwater), zie figuur 4.8.3.3.

De resultaten van die experimenten zijn weergegeven in de figuren 4.8.3.4 t/m 4.8.3.6. De Wave-Guard golfbreker heeft wat betere golfdempende eigenschappen dan de Goodyear golfbreker. Dat komt door de

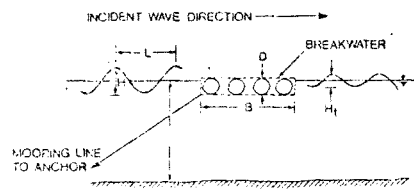
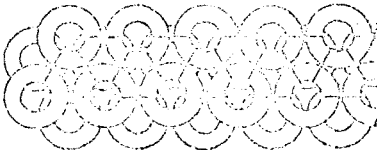
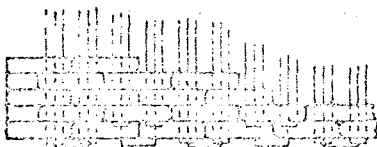


Fig. 4.8.3.1. Definitieschets.



NOTE: The end view shows the layout of the live layers and the starting positions of the bundling bands. The terminating positions of the bands are identical to the starting positions.

Double Thickness Bundle Construction

NOTE: The end view shows the layout of the live layers and the starting positions of the bundling bands. The terminating positions of the bands are identical to the starting positions.

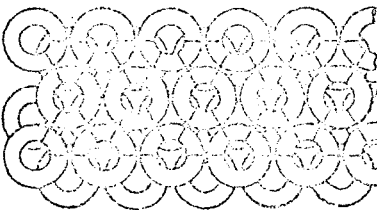
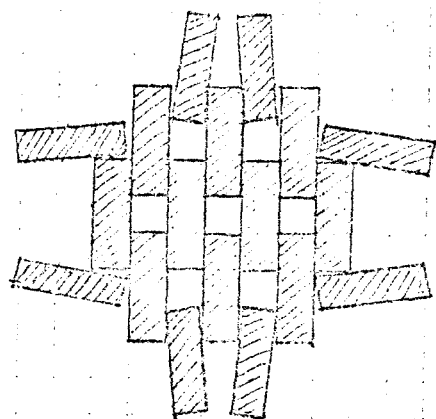
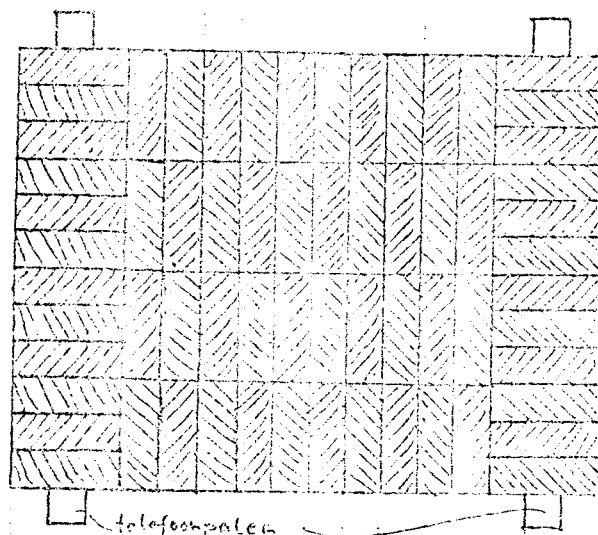
Triple Thickness Bundle Construction

Fig. 4.8.3.2. Constructiedetails van een Goodyear constructie.



"Goodyear" Floating
Tire Breakwater



"WaveGuard" Floating
Tire Breakwater

Fig. 4.8.3.3.

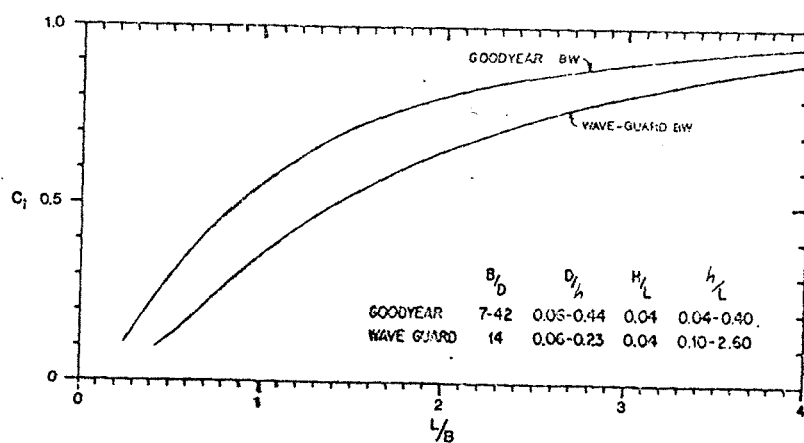


Fig. 4.8.3.4. Golftransmissie ontwerplijnen.

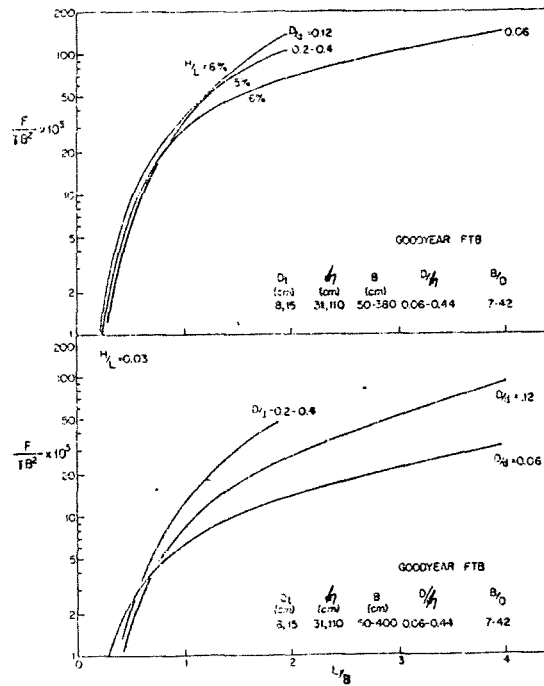


Fig. 4.8.3.5. Verankeringskracht ontwerplijnen (Goodyear).

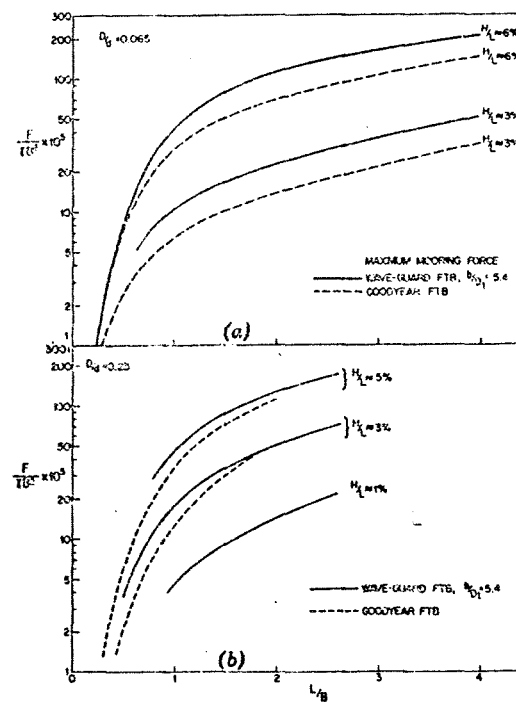


Fig. 4.8.3.6. Verankeringskracht ontwerplijnen (Wave-Guard).

dichtere structuur van de Wave-Guard golfbreker. De verankeringskrachten zijn daardoor echter ook wat groter.

Harms vindt invloed van de golfsteilheid op de transmissie: hoe groter H_L/L , hoe kleiner C_T . Dat is in overeenstemming met bevindingen van andere onderzoekers.

Harms vindt weinig invloed van de relatieve diepgang op de transmissie, dit in tegenstelling tot andere onderzoekers. Bishop [1982] geeft aan dat voor een Wave-Guard golfbreker (= Pole-Tire Breakwater, figuur 2.3.7) de transmissie in grote mate afhangt van de relatieve diepgang: hoe groter de relatieve diepgang, hoe kleiner de transmissie.

Harms heeft een eenvoudige semi-empirische relatie ontwikkeld voor de bepaling van de transmissiecoëfficiënt:

$$C_T = \exp \left(-0,84 \frac{C_d}{P} / \frac{L}{B} \right),$$

waarin $C_d/P = 0.69$ resp. $1,22$ voor de Goodyear en de Wave-Guard golfdempende constructie (C_d = weerstandscoefficiënt van banden in water, P = volume golfbreker/volume banden = porositeit).

Omdat C_d weinig verschilt van constructie tot constructie, is de golfdamping exponentieel afhankelijk van de inverse van de porositeitsparameter voor het geval dat H/L en L/B constant zijn.

Een vergelijking tussen experimenten en theorie (figuur 4.8.3.8) laat zien dat er, met name voor $L/B < 2$, een goede overeenstemming is. De verschillen komen voort uit de voor de theorie gedane aannamen.

Voor grotere golflengten ($L/B > 1$), zorgen de verzetbewegingen van de constructie (die in fase zijn met de golfbeweging) ervoor dat de relatieve snelheidsverschillen tussen constructie en vloeistof kleiner worden. Daardoor is de demping volgens de theorie groter dan volgens de experimenten.

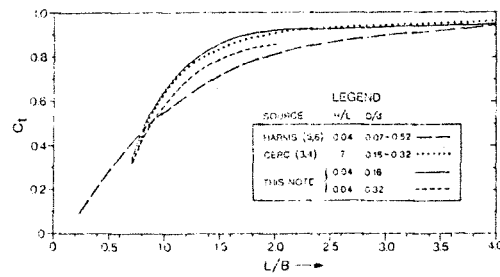
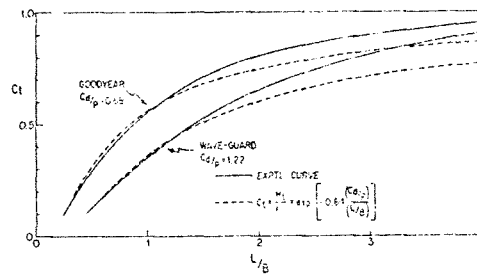


Fig. 4.8.3.7. Vergelijking van golftransmissie ontwerplijnen.

Fig. 4.8.3.8. Theoretische en werkelijke C_T -lijnen.

De verankeringskrachten (piekwaarden) kunnen volgens Harms berekend worden met:

$$\frac{F}{\rho g H^2} = k_0 \left(\frac{L}{B} \right)^{-1} \tanh \left(\frac{L}{B} \right),$$

waarin $k_0 = 0,093$ resp. $0,15$ voor de Goodyear en de Wave-Guard. Deze formule geldt voor een relatieve diepgang $D/d = 0,065$, een golfsteilheid $0,03 - 0,06$ en een relatieve golflengte $L/B > 0,8$. Voor kleine L/B vereenvoudigt de relatie tot $F = k_0 \rho g H^2$.

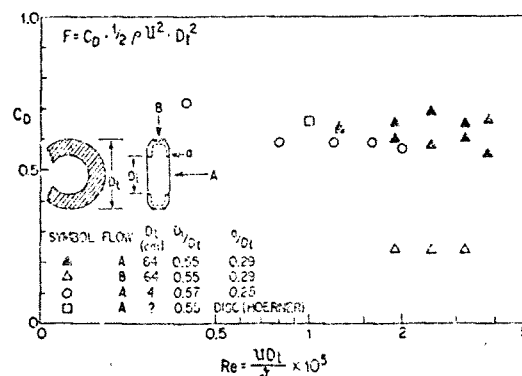


Fig. 4.8.3.9. Weerstandscoefficient.

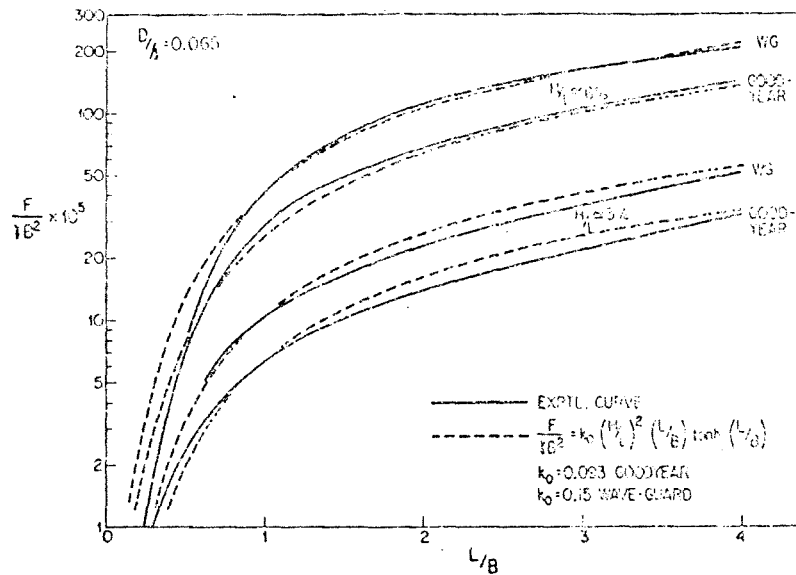


Fig. 4.8.3.10. Empirische krachtsvergelijkingen.

Een nadeel van de formules is, dat ze alleen geldig zijn voor diep water condities. De invloed van de golfsteilheid op de krachten wordt gevonden door de formule voor de krachten te herschrijven:

$$\frac{F}{\rho g B^2} = k_0 \left(\frac{H}{L}\right)^2 \left(\frac{L}{B}\right) \tanh \frac{L}{B} \quad (\text{figuur 4.8.3.10})$$

4.9 Verankerde boeien

Golfdempende constructies bestaande uit een (groot) aantal verankerde boeien (figuur 2.4.3) hebben een filterende werking voor bepaalde golffrequenties. Golven met andere frequenties worden grotendeels doorgelaten.

Golven die in staat zijn de boeien een oscillerende beweging met grote amplitude te geven (een beweging die uit fase is met de golfbeweging), verliezen een hoeveelheid energie die evenredig is met het kwadraat van de relatieve snelheid (weerstandsverliezen).

Relatief lange golven, die boeibewegingen veroorzaken in fase met de golfbeweging, verliezen minder energie. Ook relatief korte golven verliezen minder energie, omdat die golven niet of nauwelijks in staat zijn de boeien in beweging te zetten.

In figuur 4.9.1 is de transmissiecoëfficiënt van een golfbrekende constructie met verankerde boeien (Eng: Tethered Float = TF) weergegeven (diep water condities). Duidelijk is de slechte golfdempende werking te zien voor relatief korte en relatief lange golven. Golven met tussenliggende lengten worden goed gedempt (Harms [1980]).

In figuur 4.9.2 wordt een vergelijking gemaakt met de golfdempende werking van een zgn. Pole-Tire of Wave Guard golfdempende constructie: een constructie bestaande uit telefoonpalen en autobanden (figuur 2.3.7). Een dergelijke golfdempende constructie geeft betere golfdempende resultaten te zien dan een reeks verankerde boeien.

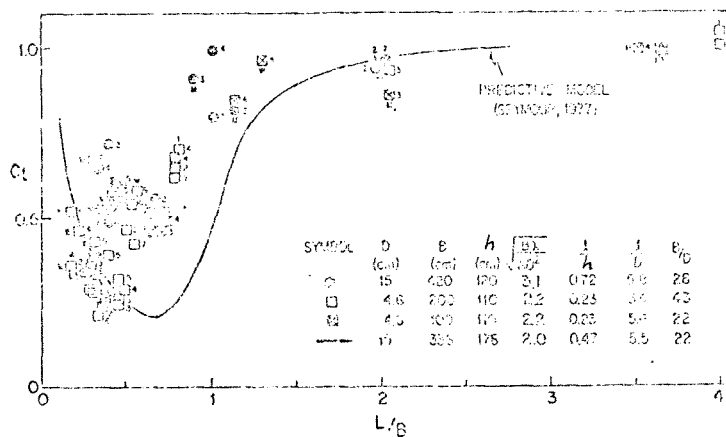


Fig. 4.9.1. Transmissiecoëfficiënt van een Tethered Flood constructie.

Uit figuur 4.9.3 blijkt dat een constructie met boeien ca. 1,5 maal zo breed moet zijn als een Pole-Tire golfdempende constructie om enigszins vergelijkbare golfdempende resultaten te hebben.

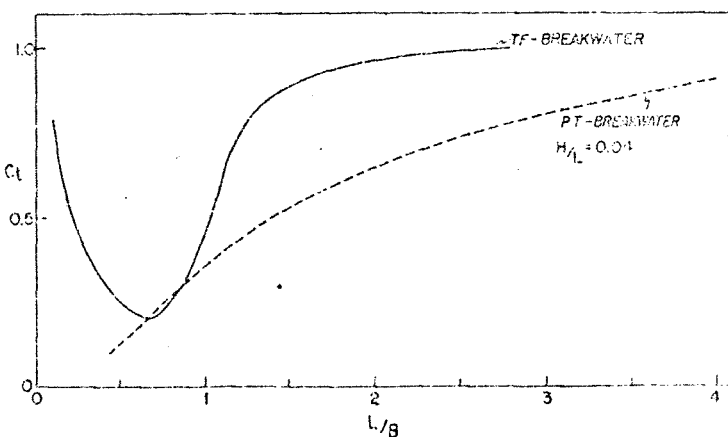


Fig. 4.9.1. .

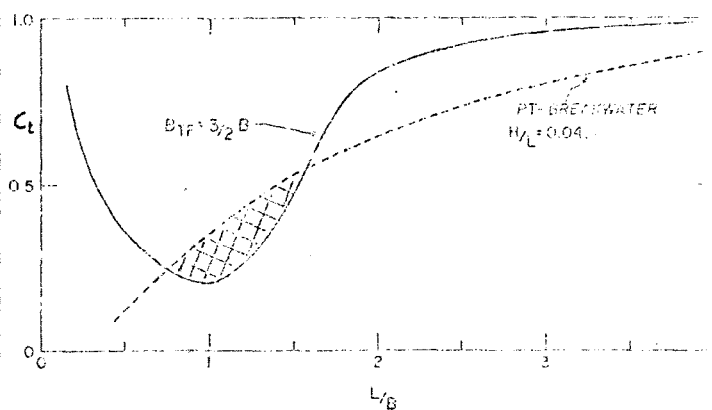


Fig. 4.9.3.

Transmissie coëfficiënt van een Tethered Flood en een Pole-Tire constructie.

4.10 Diverse golfdempende constructies

Er zijn meerdere golfdempende constructies die niet passen in de hiervoor gehanteerde groepsindeling. Voorbeelden van dergelijke constructies zijn luchtbellens- en waterstraalschermen (pneumatische en hydraulische golfbrekers), de zgn. Hydrofoil van Frey, stroomgordijnen en constructies die hun werking baseren op resonantie.

4.10.1 Luchtbellens- en waterstraalschermen

Luchtbellens- en waterstraalschermen zorgen ervoor dat bij het wateroppervlak een waterstroming wordt opgewekt, tegengesteld aan de golfvoortplantingsrichting (zie figuur 2.3.6). Daardoor worden de golven steiler, zodat ze gaan breken. In figuur 4.10.1.1 is een voorbeeld gegeven van de golfdempende eigenschappen van een luchtbellenschermgolfbreker (Iwagaki, Asano en Honda [1978]). Daaruit blijkt dat de golfdempende werking tamelijk plotseling verdwijnt als de golffrequentie een bepaalde waarde onderschrijdt (als de golfperiode een bepaalde waarde overschrijdt).

Door het (lucht)debiet van het scherm groter te maken treedt een verbetering op. Dat komt door een toenemende horizontale stroomsnelheid. De verbetering is echter maar klein. Dat komt omdat die horizontale snelheid evenredig is met de $1/3$ macht van het luchtdebiet.

COASTAL ENGINEERING—1978

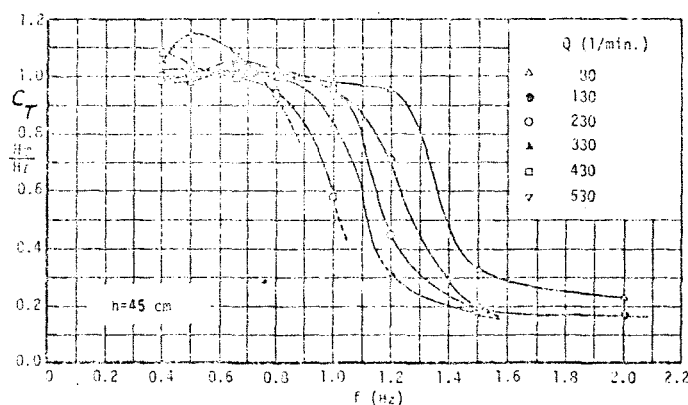


Fig. 4.10.1.1. Invloed van de frequentie op de transmissiecoëfficiënt.

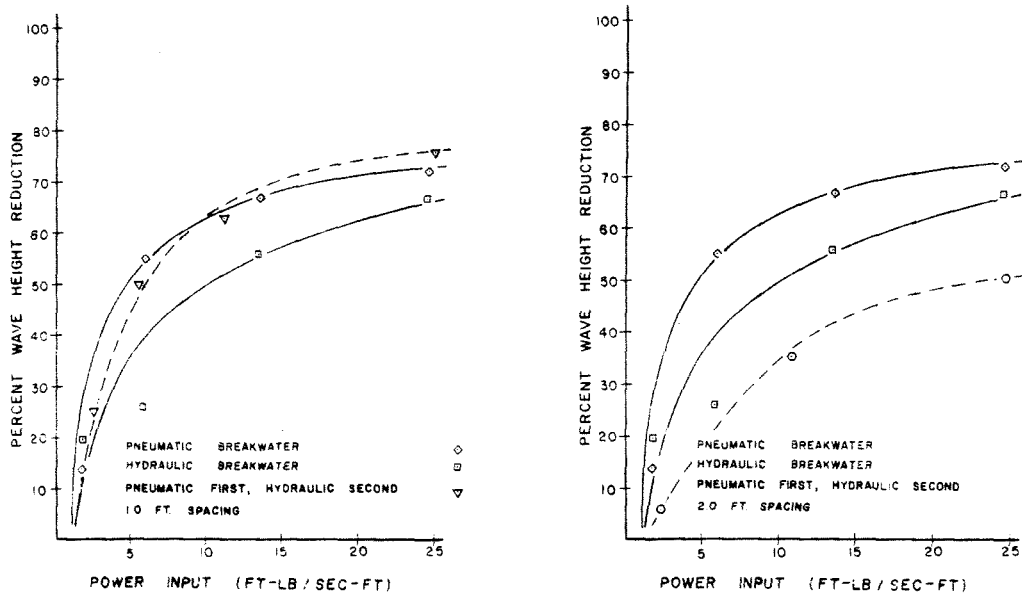


Fig. 4.10.1.2. Golfreductie t.g.v. een combinatie van een pneumatische en een hydraulische golfdempende constructie.

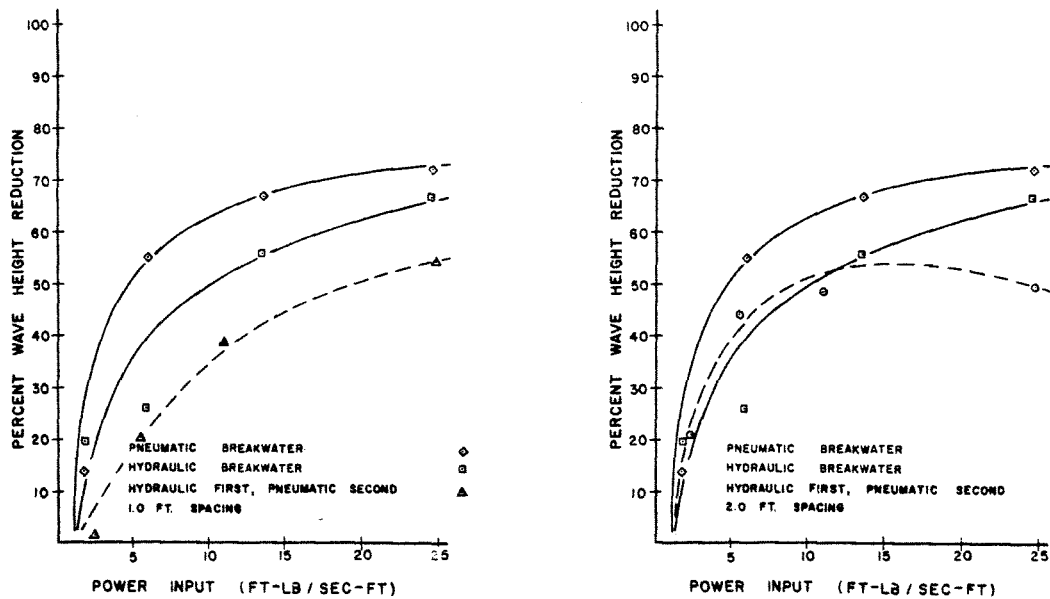


Fig. 4.10.1.3. Golfreductie t.g.v. een combinatie van een pneumatische en een hydraulische golfdempende constructie.

Colonell, Carver en Lacouture [1974] hebben onderzoek gedaan naar de golfdemping door luchtbellenschermen, waterstraalschermen en combinaties van beiden. Enkele van hun resultaten zijn weergegeven in de figuren 4.10.1.2 en 4.10.1.3 (diep water condities).

Uit de figuren valt af te leiden dat een golfbreker met luchtbellenscherm wat betere resultaten te zien geeft dan een golfbreker met waterstraalscherm. Verder is een combinatie van een luchtbellenscherm met een waterstraalscherm in het algemeen niet zo effectief als de afzonderlijke golfbrekers.

Verder vonden Colonell et al. dat een verhoging van het water- of luchtdebiet een veel geringere verhoging van de oppervlaktestroomsnelheid teweeg brengt (40% resp. 14%).

Een ander resultaat was de conclusie dat dergelijke golfbrekers fungeren als filters voor bepaalde golffrequenties: de golfbrekers falen in het dempen van golven met frequenties die liggen onder een bepaalde waarde. De laatste bevindingen komen overeen met die van Iwagaki et al.

4.10.2 Hydrofoils (draagvleugels)

Een hydrofoil of draagvleugel is een constructie bestaande uit een aantal al dan niet gebogen bladen waarmee de golfbeweging verstoord wordt (figuur 4.10.2.1, Frey [1974]).

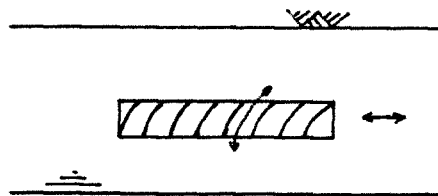


Fig. 4.10.2.1. Hydrofoil of draagvleugel.

Dergelijke constructies kunnen zowel horizontaal als onder een helling worden geplaatst.

Horizontaal geplaatst kan een zogenaamd "strandeffect" worden bewerkstelligd (figuur 4.10.2.2).

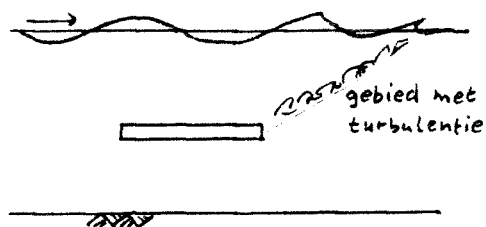


Fig.4.10.2.2. Strandeffect.

4.10.3 Parabolische vlotten

Parabolische vlotten kunnen zowel eenzijdig scharnierend als drijvend worden toegepast (figuren 4.10.3.1 en 4.10.3.2). De vorm van de vlotten wordt bepaald door parabolische balken. Dwars daarop worden planken geplaatst. Met die planken kan ook de mate van porositeit van de vlotten worden bepaald.

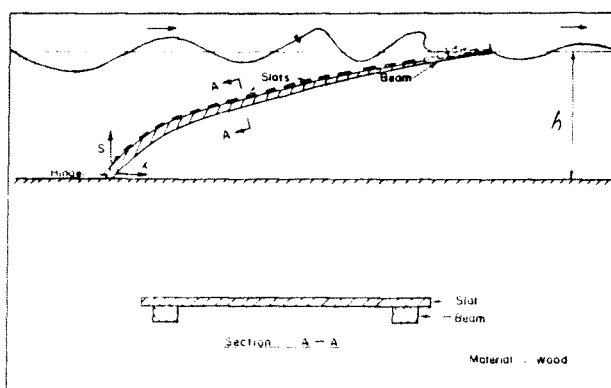


Fig. 4.10.3.1. Scharnierende parabolische constructie.

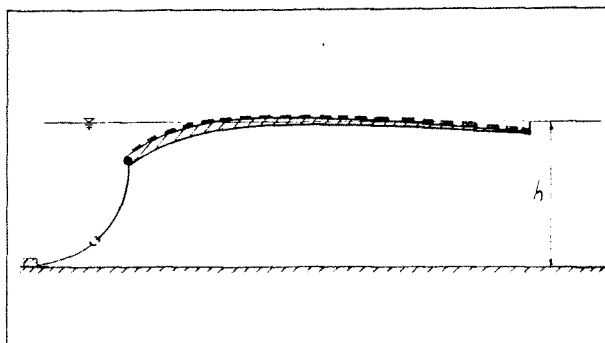


Fig. 4.10.3.2. Drijvende parabolische constructie.

De opzet van de constructie is golfdemping te veroorzaken door het instabiel maken van de inkomende golven, door het opwekken van tegenstromingen t.g.v. de vlotbewegingen en door vervorming van het vlot.

Experimenten met houten modellen (Ofuya [1968]) tonen aan dat scharnierende vlotten met een porositeit van 20% of minder golven effectief dempen in diep water en in waterdiepten tussen ondiep en diep water. Golven in diep water worden nog goed gedempt door vlotten met een porositeit tussen 30% en 50%. Is de porositeit meer dan 50% dan is de demping slecht (figuur 4.10.3.3).

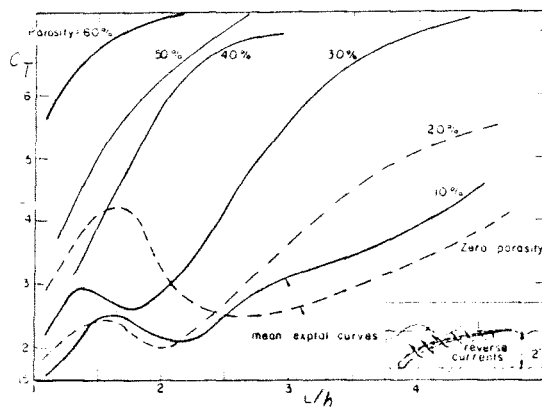


Fig. 4.10.3.3. Golfdemping van een scharnierende parabolische constructie.

Figuur 4.10.3.4 laat zien dat een verankerd drijvend parabolisch vlot met name in diep water effectiever golven dempt dan een scharnierend vlot.

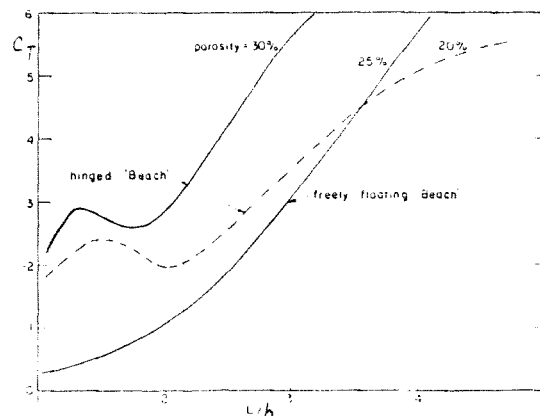


Fig. 4.10.3.4. Vergelijking van de golfdemping van een scharnierende en een drijvende parabolische constructie.

Volgens Ofuya moet voor een goede golfdempende werking een parabolisch vlot erg elastisch zijn. In zijn houten model is dat goed te realiseren. In een prototype zal daar waarschijnlijk een ander materiaal voor nodig zijn.

4.10.4 Hellende drijvende platen

Een bijzondere vorm van een drijvende plaat is een plaat die met 1 uiteinde op de bodem rust. Aan het andere uiteinde is de plaat al dan niet verankerd (figuur 4.10.4.1). Een voorbeeld van zo'n constructie is een ponton dat gedeeltelijk wordt geballast. (Let in de figuur op de richting van de inkomende golven).

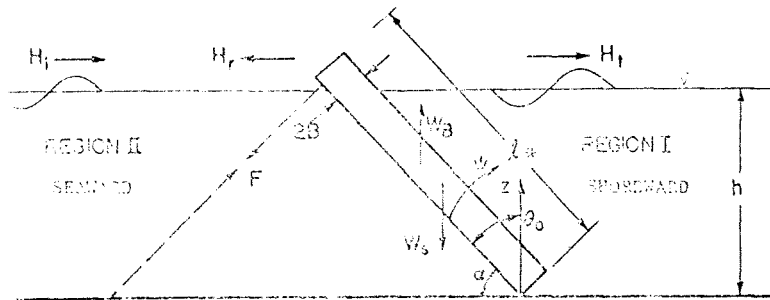


Fig. 4.10.4.1. Hellende drijvende constructie (scharnierend).

Jones, Lee en Raichlen [1979] hebben proeven gedaan met dergelijke constructies. Analytische en experimentele resultaten van hun modelproeven met een scharnierend bevestigde plaat zijn weergegeven in figuur 4.10.4.2. Ter vergelijking zijn in die figuur de eigenschappen van een gelijkvormige golfgenerator weergegeven. Er blijkt een duidelijke overeenkomst te zijn voor kh groter dan 0,5. Echter, ook voor kh kleiner dan 0,5 is er overeenkomst: de golfgenerator produceert aan beide zijden (regionen I en II) even hoge golven, en de golfdempende constructie heeft een transmissiecoëfficiënt die ongeveer 1 is (aan beide zijden eveneens even hoge golven). Deze overeenkomst komt voort uit het feit dat de getransmitteerde golf wordt opgewekt door de bewegingen van de plaat.

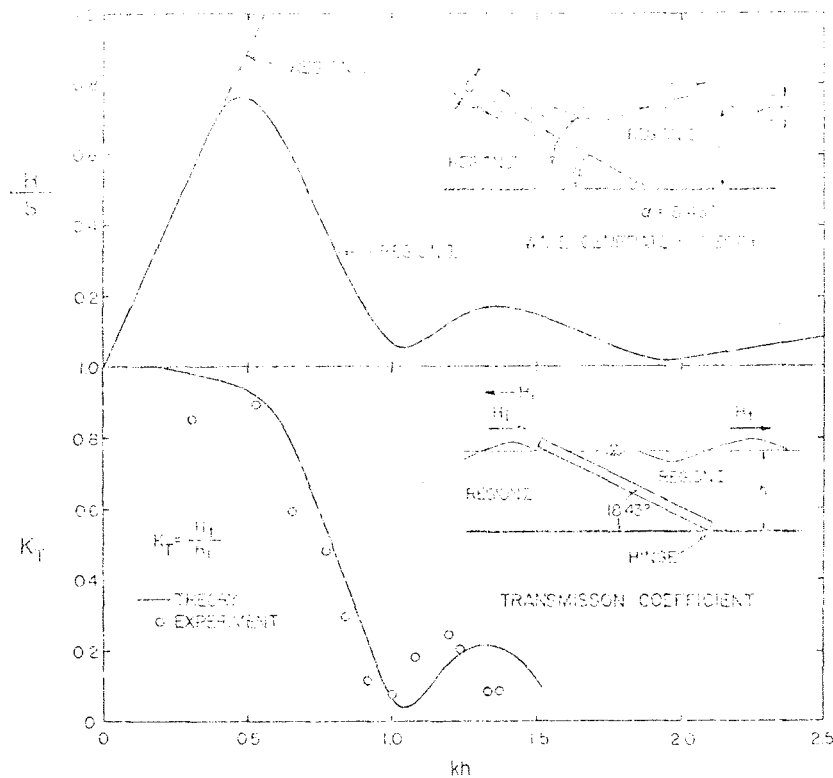


Fig. 4.10.4.2. Golfdemping en golfopwekking van een scharnierende plaat.

De resultaten van figuur 4.10.4.2 zijn alleen geldig voor een plaat met een hellingshoek van ca. 13° . Proeven van Raichlen en Lee [1978] duiden erop dat de hellingshoek grote invloed heeft op het golfdempende gedrag. Dat is op te maken uit figuur 4.10.4.3: als α groter wordt blijven de golfhoogten voor en achter de golfgenerator langer gelijk (h/L wordt groter voordat afwijkingen op gaan treden). Vanwege de overeenkomsten tussen een hellende golfgenerator en een hellende golfdempende plaat zal een hellende golfdempende plaat voor toenemende α langer een transmissiecoëfficiënt $C_T = 1$ te zien geven: C_T zal pas voor grotere waarden van h/L (kleinere waarden van L) af gaan nemen.

Jones et al. hebben ook de invloed onderzocht van een spleet aan de onderkant van de plaat (figuur 4.10.4.4). Zoals te verwachten is, neemt de transmissiecoëfficiënt toe met toenemende spleetgrootte.

Verder is door Jones et al. onderzoek gedaan naar het golfdempende gedrag van een tweetal holle stalen pontons. Dergelijke pontons worden gedeeltelijk geballast, zodat ze met één uiteinde op de bodem rusten.

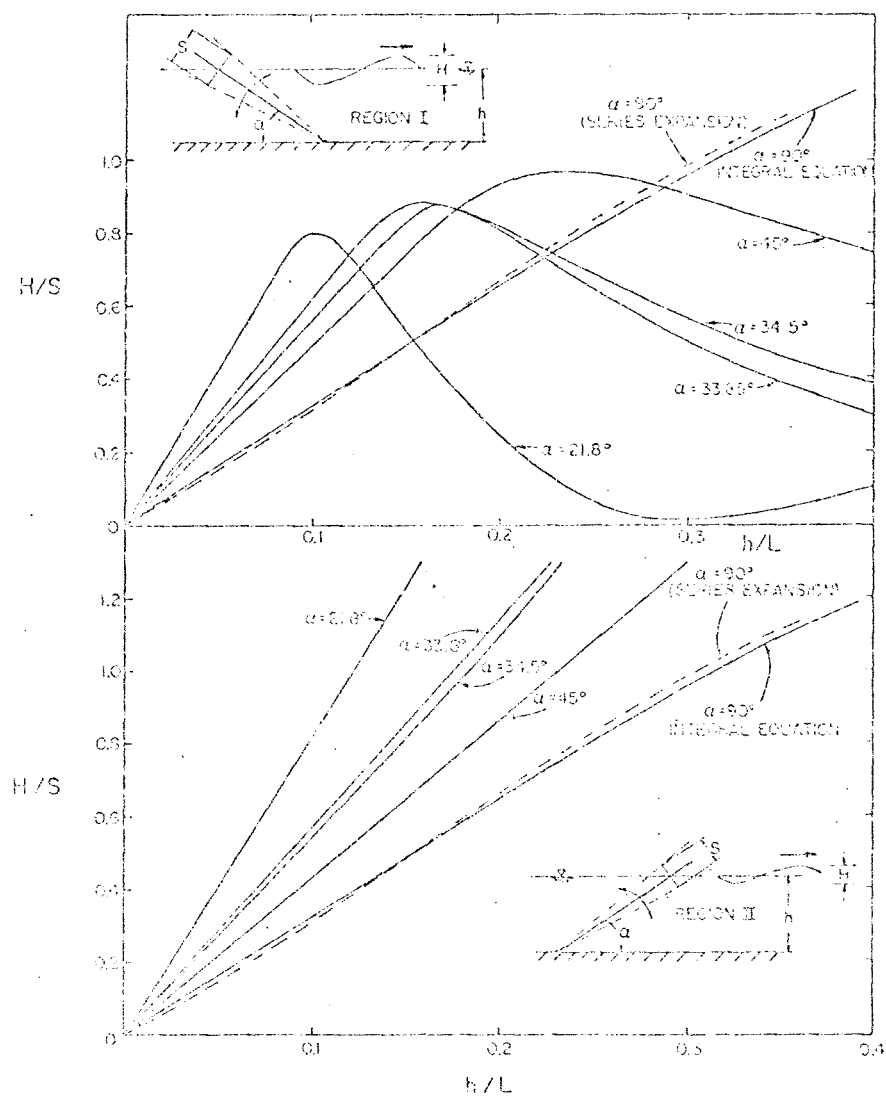


Fig. 4.10.4.3. Theoretische golfopwekking.

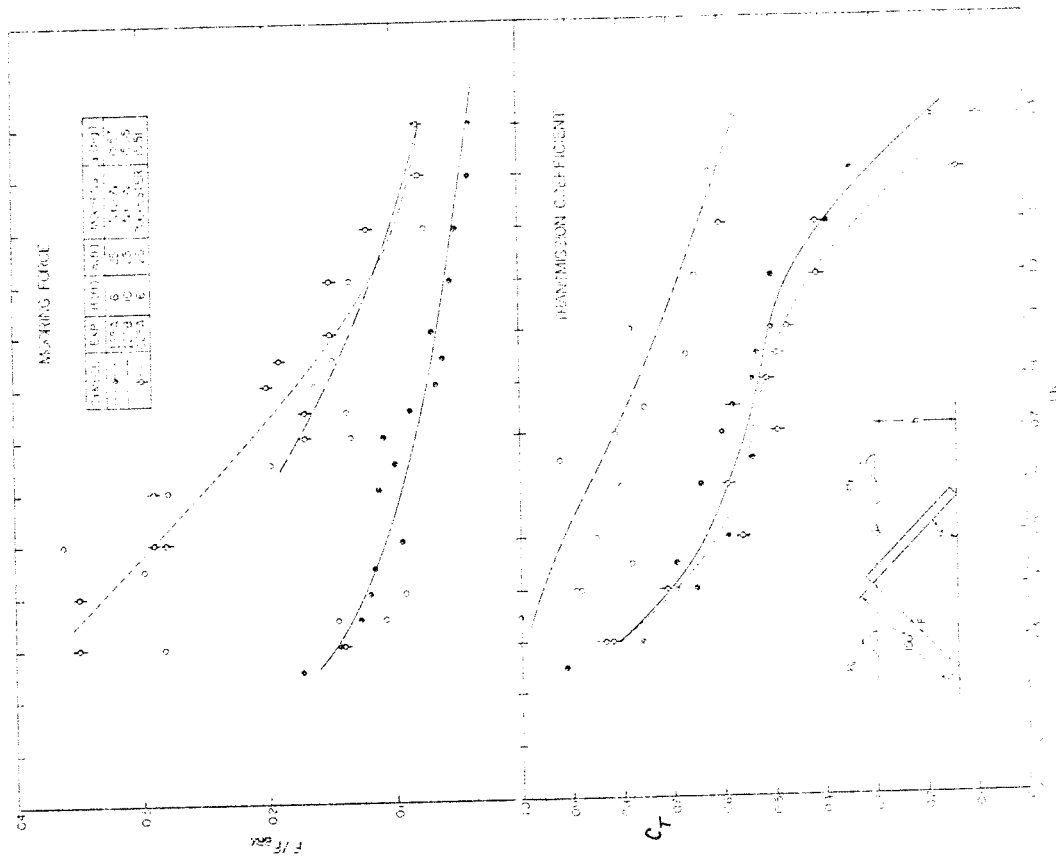


Fig. 4.10.4.5. Transmissie- en verankeringskrachtcoëfficiënt van een verankerd AMI-ponton (invloed van golfhoogte en verankersstijfheid).

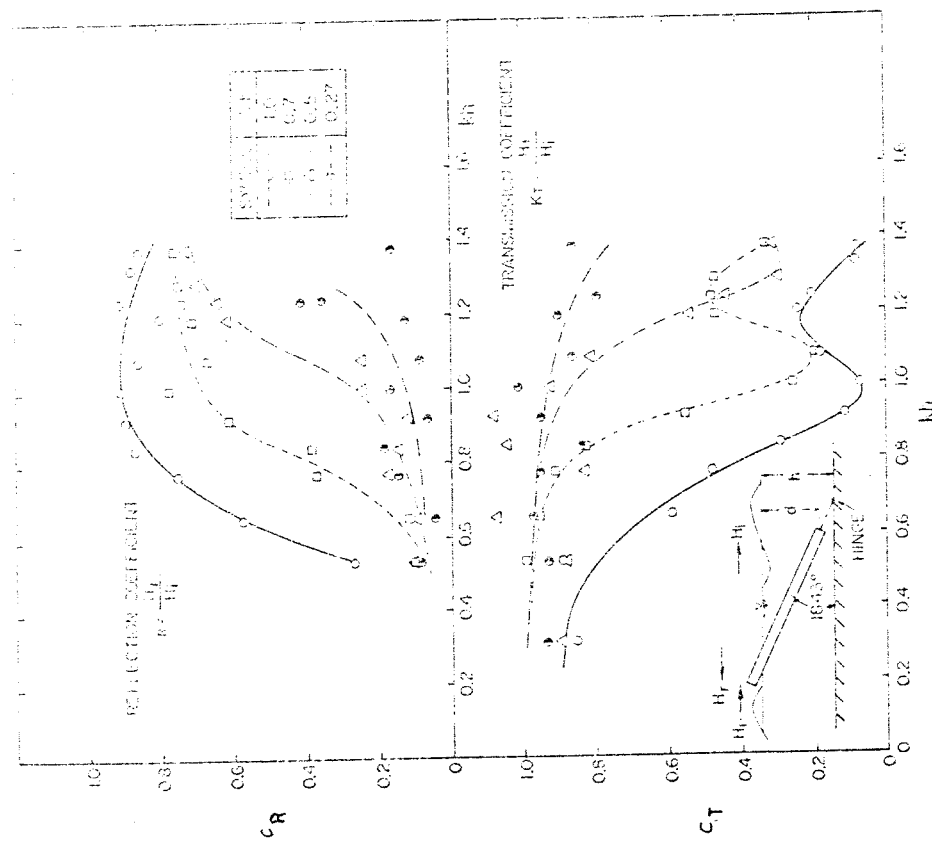


Fig. 4.10.4.4. Transmissie- en reflectiecoëfficiënt van een plaat met en zonder opening.

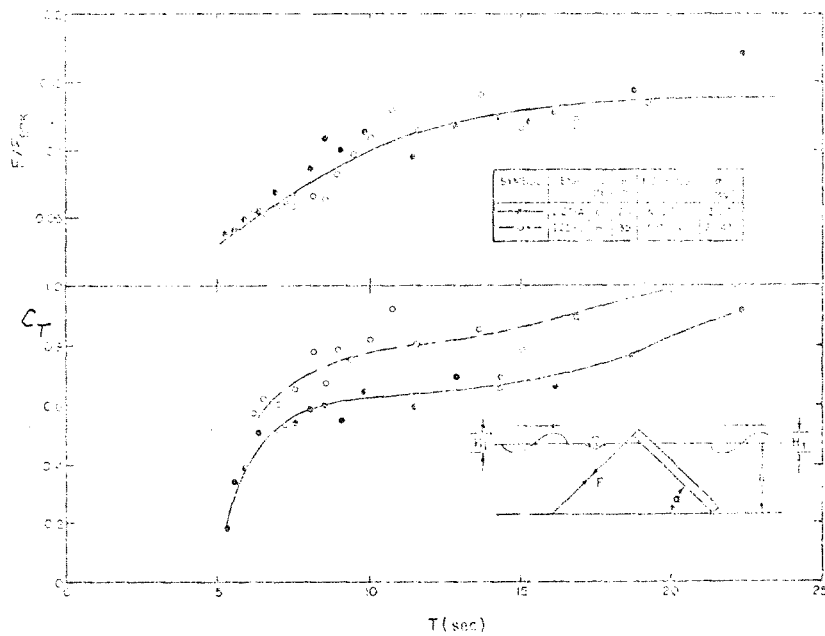


Fig. 4.10.4.6. Transmissie- en verankeringskrachtcoëfficiënt van een verankerd AMMI-ponton (invloed van waterdiepte).

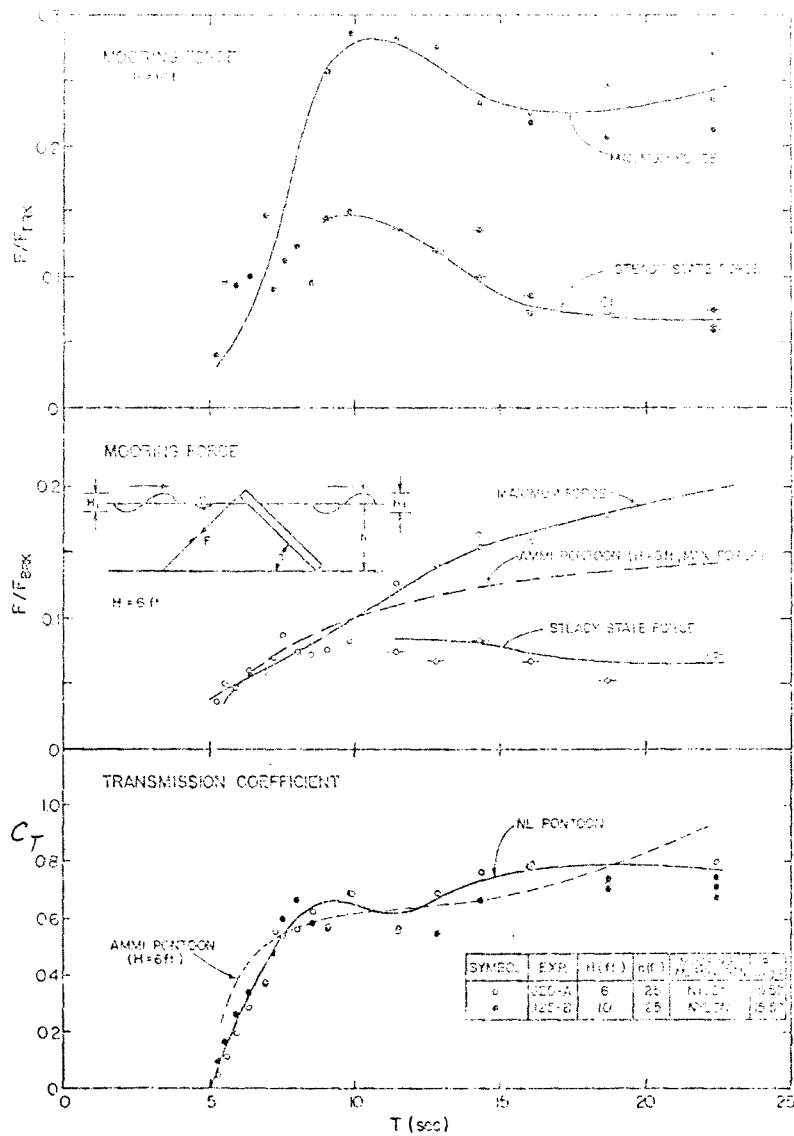


Fig. 4.10.4.7. Transmissie- en verankeringskrachtcoëfficiënt van een NL-ponton (invloed van golfhoogte).

Aan het andere uiteinde worden ze verankerd. Resultaten van hun proeven zijn weergegeven in de figuren 4.10.4.5 t/m 4.10.4.7. De volgende conclusies zijn te trekken:

- De golfdempende werking neemt af met toenemende golfperiode en met toenemende waterdiepte.
- De verankeringskrachten blijven ongeveer gelijk met toenemende waterdiepte (als pontonlengte, gewichtsverdeling en verankering hetzelfde blijven).
- De verankeringskrachten worden groter en de transmissiecoëfficiënten blijven ongeveer gelijk als de stijfheid van de verankering toeneemt.
- Voor lange golven zijn de piekkrachten groter dan de gemiddelde krachten, voor korte golven is er weinig verschil.

De proeven zijn uitgevoerd met schaalmodellen van 2 verschillende pontons: een AMMI-ponton en een NL-ponton (tabel 4.10.4.1).

Ponton	Lengte	Breedte	Hoogte	Gewicht pontoon	Gewicht ballast	Totale gewicht	I*	
	(ft)	(ft)	(ft)	(lb)	(lb)	(lb)	(gr.)	(lb sec ² ft)
AMMI	90	28	5	100000	649150	749150	15,8	43,85 x 10 ⁶
NL	90	21	5	134000	360760	494760	16,8	27,57 x 10 ⁶

* Massatraagheidsmoment om het uiteinde dat in contact is met de bodem.

Tabel 4.10.4.1 Fysische eigenschappen van hellende drijvende golfdempende constructies.

Ondanks het verschil in massa en massatraagheidsmoment blijken de golfdempende eigenschappen van de pontons goed overeen te komen (figuur 4.10.4.7). Er is wel verschil in verankeringskrachten: het zwaardere AMMI-ponton ondervindt kleinere krachten dan het lichtere NL-ponton (figuur 4.10.7).

4.10.5 Resonantieconstructies

Resonantieconstructies verkrijgen hun werking geheel of gedeeltelijk uit demping van de inkomende golven door teruggekaatste golven met een andere fase. Dergelijke constructies functioneren vooral goed als ze

golven moeten dempen met golflengten die liggen in de buurt van de golflengten, waarvoor de constructies ontworpen zijn.

Een goed voorbeeld geeft figuur 4.3.3.6, waarin de transmissiecoëfficiënt is weergegeven voor twee achter elkaar geplaatste schermen met horizontale spleten. Voor schermafstanden die gelijk zijn aan $1/4$ golflengte of $3/4$ golflengte is de transmissie minimaal, doordat de inkomende en teruggekaatste golven een tegengestelde fase hebben. Een nadeel van deze constructie is, dat golven met een andere golflengte dan de ontwerp golflengte slecht worden gedempt. Dat betekent dat deze constructie in een situatie met veel variatie in de golflengten (wat in de natuur vaak voorkomt, zeker als het om windgolven gaat) niet voldoet.

Een constructie die dan beter voldoet is de zgn. "Offset Breakwater", een golfdempende constructie die dempt door reflectie. Uitgaande van enerzijds de gunstige golfdempende eigenschappen van een verticale wand en anderzijds de geringe stabiliteit van de drijvende variant daarvan is de "Offset Breakwater" ontwikkeld (door de Universiteit van Texas in Austin). Het principe is weergegeven in figuur 4.10.5.1. Het massatraagheidsmoment wordt sterk vergroot. De op de constructie uitgeoefende golfkrachten heffen elkaar grotendeels op als de verspringende reflecterende wanden op een afstand $1/4 L$ van elkaar af staan.

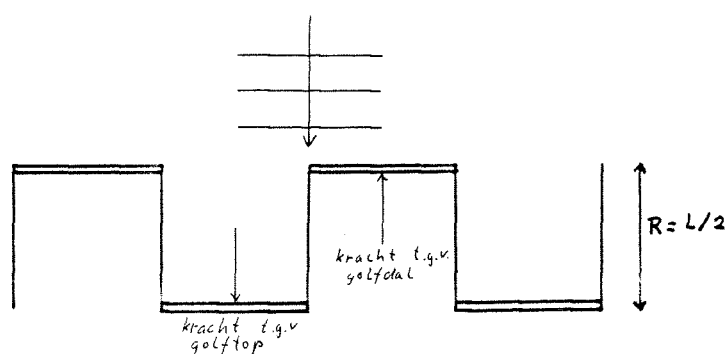


Fig.4.10.5.1. "Offset-golfdempende constructie (bovenaanzicht).

Het golfdempend gedrag van zo'n constructie is onderzocht in windgolven, d.w.z. in een golfveld met variabele golflengten. Zie figuur 4.10.5.2.

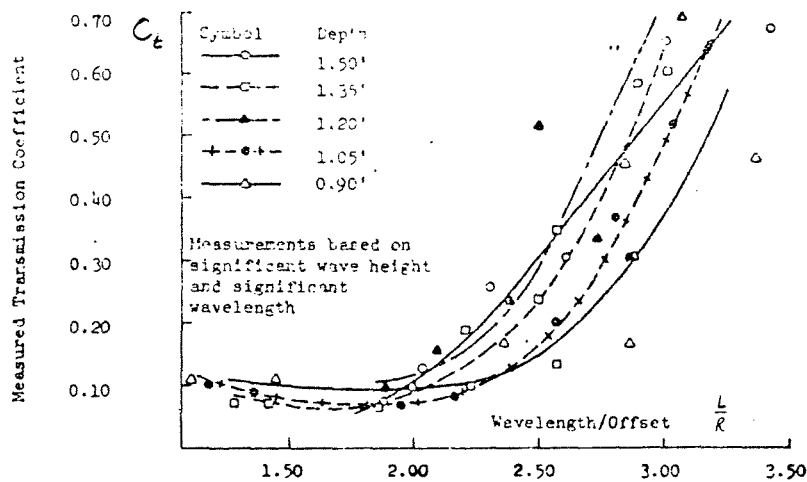


Fig. 4.10.5.2. Transmissiecoëfficiënt voor windgolven.

Het blijkt dat alle golven met een lengte kleiner dan ca. 1,3 maal de ontwerpgolflengte goed worden gedempt. De transmissiecoëfficiënt is minimaal voor de ontwerpgolflengte.

4.11 Invloed van de golfinvalshoek

In het voorgaande is voornamelijk ingegaan op de golfdempende werking van constructies in 2-dimensionale situaties: situaties waarin de golven loodrecht op de constructie aankomen (invalshoek $\theta = 0^\circ$). Slechts in enkele gevallen is ook de invloed van schuin inkomende golven meegenomen. Oorzaak is dat er weinig onderzoek naar is gedaan.

Verandering van de golfinvalshoek heeft zowel invloed op de golfdemping als op de verankeringskrachten.

Beschouwen we eerst de golfdemping: De hoeveelheid energie in golven met een golfhoogte H is per eenheid van wateroppervlak $E = 1/8 \rho g H^2$. In één golf (met lengte L) is per eenheid van breedte $E_T = 1/8 \rho g H^2 L$ aanwezig. Als de golven loodrecht op een constructie aankomen moet per eenheid van constructielengte dus per golf $1/8 \rho g H^2 L$ verwerkt worden (verwerken = reflecteren, dissiperen, doorlaten). Zie figuur 4.11.1.

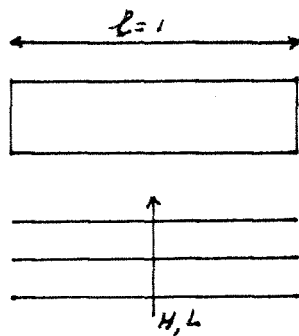


Fig. 4.11.1. Rechtinkomende golven.

Bij schief invallende golven krijgt de constructie per lengte eenheid minder energie te verwerken. Is de invalshoek θ dan moet per golf $1/8 gH^2 \cos \theta L$ verwerkt worden, omdat de breedte waarover de golven aankomen met een factor $\cos \theta$ verkleind wordt. Zie figuur 4.11.2.

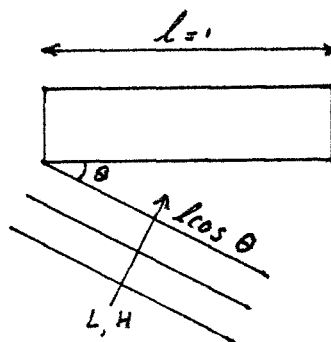


Fig. 4.11.2. Scheefinkomende golven.

De energie die door de constructie verwerkt moet worden kan op 2 manieren beschouwd worden. Enerzijds kan met een equivalente golfhoogte $H_{eq} = H \sqrt{\cos \theta}$ gewerkt worden, anderzijds met een equivalente golflengte $L_{eq} = L \cos \theta$. Beide benaderingen geven dezelfde energie: $E_T = 1/8 \rho g (H \sqrt{\cos \theta})^2 L = 1/8 \rho g H^2 (L \cos \theta)$. Het is alsof de energie zit in, loodrecht invallende, golven met een golfhoogte $H \sqrt{\cos \theta}$ en een golflengte L , of in golven met een golfhoogte H en een golflengte $L \cos \theta$. De te verwerken hoeveelheid energie is bij schief invallende golven dus kleiner dan bij recht invallende golven.

Naast het feit dat de golven scheef invallen, heeft ook de constructie zelf invloed. Enerzijds is er de invloed van de geometrie (breedte en vorm) anderzijds is er de invloed van de bewegingen. Zo is voor een palenrij de transmissiecoëfficiënt (gegeven door Grüne en Kohlhasse [1974]):

$$C_{T\theta} = \frac{1}{2} C_{T_0} (1 + \cos^a \theta) (1 - w^2),$$

waarin

- $C_{T\theta}$ = transmissiecoëfficiënt voor golfrichting θ
 C_{T_0} = transmissiecoëfficiënt voor loodrecht invallende golven
 a = vormcoëfficiënt voor de palen
 = hoek van golfval
 w = paalbreedte/h.o.h. paalafstand

De invloed van de paalvorm wordt in deze formule weergegeven door de factor a . Zo is voor een rechthoekige paal (breedte/dikte = 1/1,5) $a = \frac{1}{2}$, en voor een H-balk (breedte/dikte = 1/2) $a = 1$.

De invloed van de constructiebreedte is eenvoudig in te zien. Als golven scheef invallen is de effectieve constructiebreedte groter dan in het geval van loodrecht invallende golven (figuur 4.11.3). Daardoor worden de golven beter gedempt.

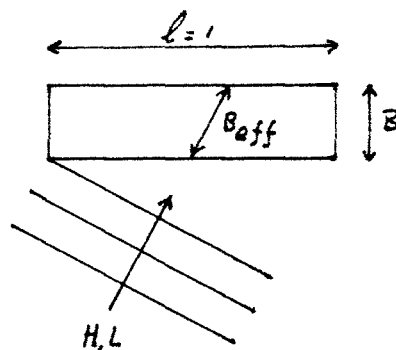


Fig. 4.11.3. Effectieve constructiebreedte B_{eff} .

De effectieve constructiebreedte is gelijk aan $B_{eff} = B / \cos \theta$.

De invloed van de constructiebewegingen bij scheef invallende golven is nauwelijks in te schatten. Dit komt door de gecompliceerdheid van de bewegingen, er zijn nl. 6 vrijheidsgraden (translatie in 3 richtingen en rotatie om 3 assen). Het enige wat er van gezegd kan worden is dat, vooral als de constructie groot en stijf is, de constructie in het geval van scheef invallende golven minder gemakkelijk de golfbewegingen zal kunnen volgen dan in het geval van loodrecht invallende golven. Hierdoor kan de golfdemping wat gunstiger uitvallen (de constructie reageert wat meer als een vaste constructie). Voor een betere beoordeling van de invloed van de bewegingen bij scheef invallende golven zullen experimenten moeten worden uitgevoerd.

Resumerend kan de invloed van het scheef invallen van de golven worden benaderd met een equivalente golflengte (of een equivalente golfhoogte) en de invloed van de constructiebreedte met een effectieve breedte. De gevolgen voor de transmissiecoëfficiënt kunnen voor beide invloeden grafisch worden weergegeven. De meest gangbare weergave van de transmissiecoëfficiënt is die waarin de coëfficiënt wordt uitgezet tegen de relatieve breedte B/L . Zowel een grotere breedte als een kleinere golflengte hebben tot gevolg dat B/L groter wordt. Derhalve zal in het geval van scheef invallende golven de kromme van de transmissiecoëfficiënt een verschuiving naar links te zien geven t.o.v. de kromme voor loodrecht invallende golven (figuur 4.11.4).

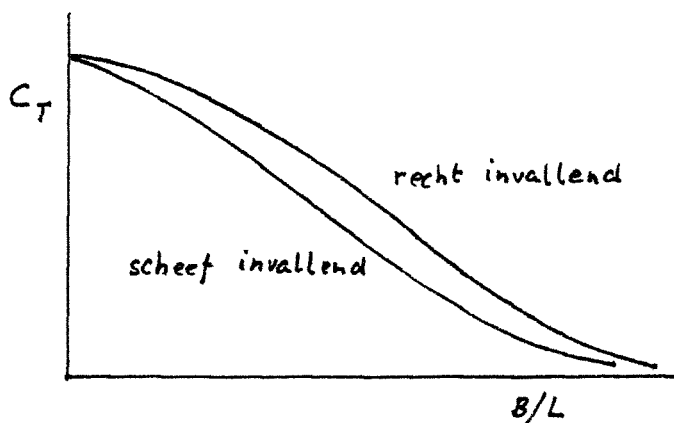


Fig. 4.11.4. Invloed van scheef invallende golven op de transmissiecoëfficiënt.

Een voorbeeld dat e.e.a. goed weergeeft is een weergave van de resultaten van proefnemingen met een "Strake & Boom" vlot, een vlot opgebouwd uit balken die in de lengte in de golfvoortplantingsrichting zijn geplaatst (strakes) en die aan de uiteinden d.m.v. dwarsbalken (booms) met elkaar zijn verbonden (figuur 4.11.5).

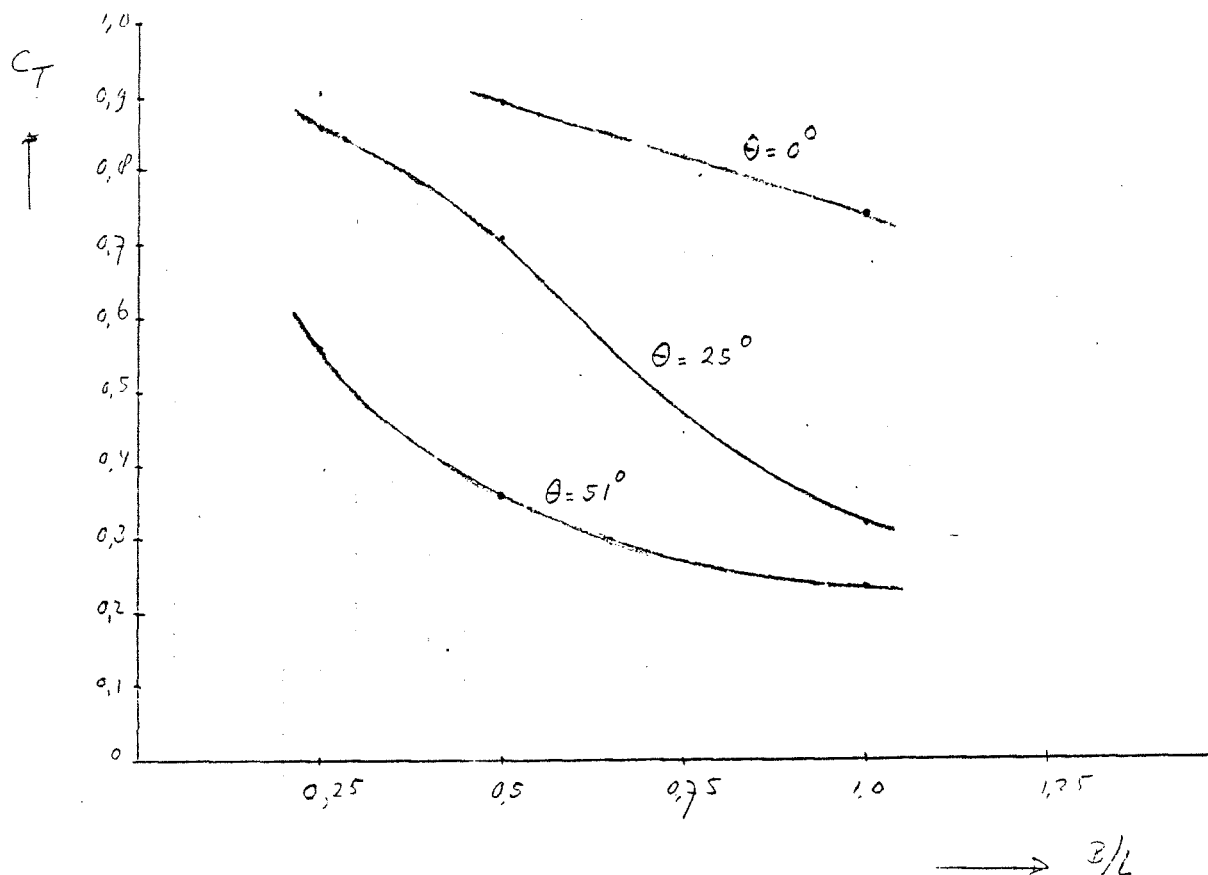


Fig. 4.11.5. Transmissiecoëfficiënt van een "Strake & Boom" golfdempende constructie voor verschillende golfinvloeden.

De hoek van golfinval is ook van invloed op de verankeringskrachten. In het algemeen geldt, dat naarmate een constructie beter dempt, de erop werkende krachten groter worden. Dat betekent, dat naarmate de golfinvalshoek groter wordt door de betere damping de krachten groter worden. Daar staat tegenover dat per lengte-eenheid van de constructie de te verwerken hoeveelheid energie kleiner wordt, waardoor de krachten juist kleiner worden. In welke verhouding deze invloeden t.o.v. elkaar staan is niet duidelijk. Verder is er nog een andere invloed die bij schief invallende golven de krachten doet afnemen.

T.g.v. het scheef invallen bereikt ieder punt van een golfkam de constructie op een verschillend tijdstip (figuur 4.11.6).

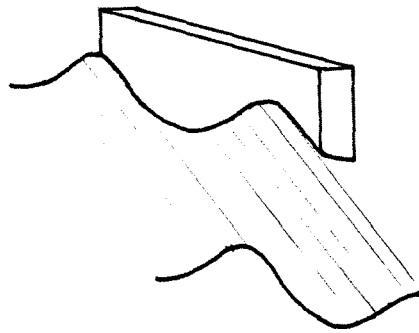


Fig. 4.11.6. Golfhoogteverloop langs een constructie t.g.v. scheef invallende golven.

De invloed van de golfinvalshoek op de krachten is onderzocht door Eie, Traetteberg en Torun [1970]. Zij gaan uit van een verband tussen kracht en golfhoogte dat er als volgt uitziet:

$$F = K(\theta, f)H,$$

waarbij K een overdrachtsfunctie is. K is een functie van de golfinvalshoek θ en de golffrequentie f . Bij proeven die zij hebben gedaan met een vast ponton hebben zij waarden voor K gevonden zoals weergegeven in de figuren 4.11.7 en 4.11.8. Uit die figuren blijkt dat voor toenemende θ de kracht behoorlijk afneemt.

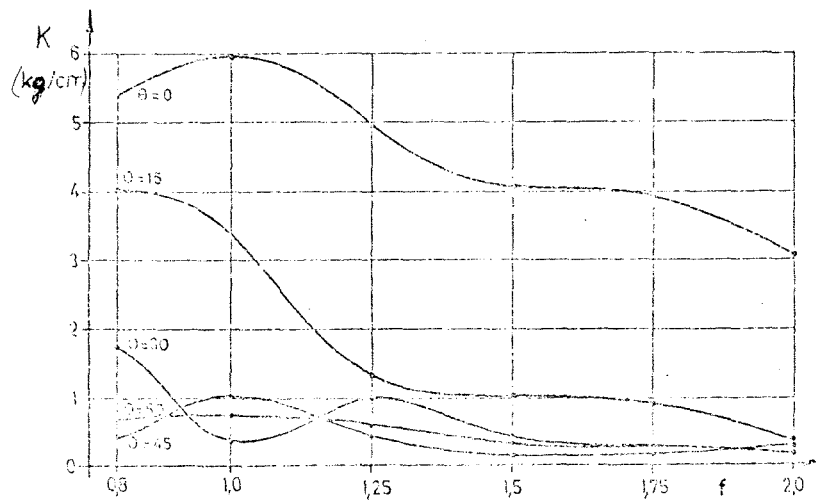


Fig. 4.11.7. Overdrachtsfunctie $K(\theta, f)$.

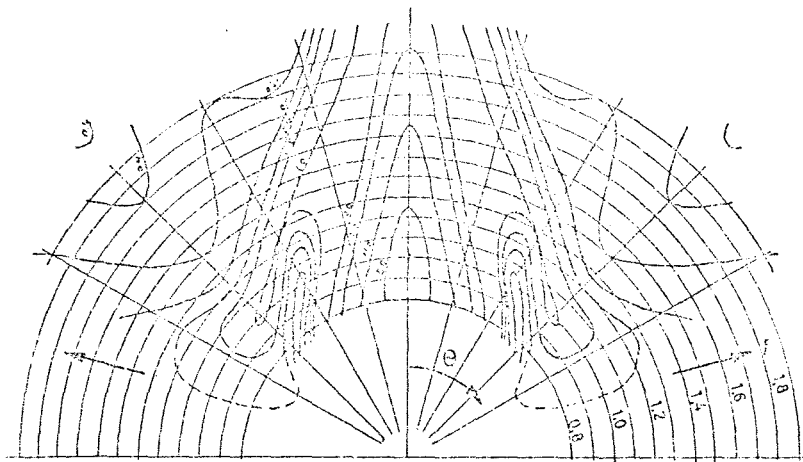


Fig. 4.11.8. Overdrachtsfunctie $K(\theta, f)$ als contourkaart.

4.12 Onregelmatige golven

De meeste proeven, die zijn gedaan met golfdempende constructies, zijn uitgevoerd met regelmatige golven. Slechts een enkele maal zijn proeven gedaan met onregelmatige golven. Ouellet en Morin [1975] hebben het gedrag van 2 typen golfdempende constructies in onregelmatige golven onderzocht. De 2 typen zijn: een vaste verticale plaat en een A-frame (figuur 4.12.1).

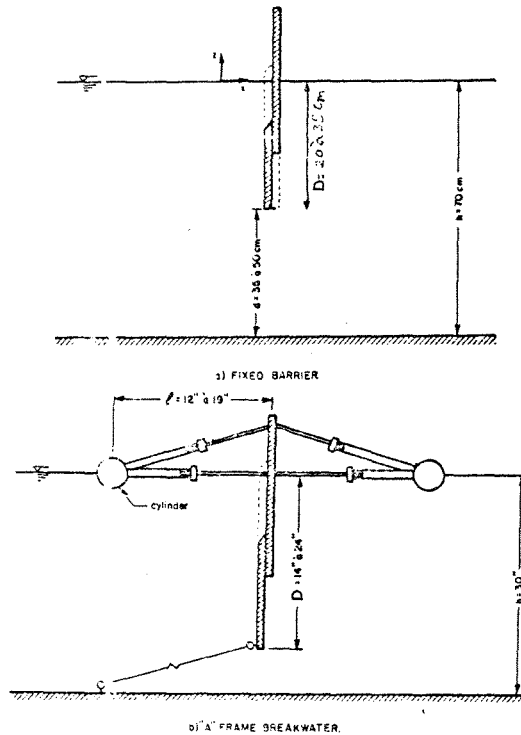


Fig. 4.12.1. Geteste constructies.

Van de verticale plaat is de diepgang variabel, en van het A-frame zowel de diepgang als de afstand tussen de drijvers.

De golfdempende werking van de beide constructies in regelmatige golven is weergegeven in de figuren 4.12.2 en 4.12.3. De golfdempende werking in onregelmatige golven is weergegeven in de figuren 4.12.4 en 4.12.5 (met golfspectra volgens Neumann, Scott, Bretschneider en Moskowitz).

Ter vergelijking zijn in de figuren 4.12.4 en 4.12.5 ook de krommen voor regelmatige golven weergegeven. Het blijkt dat in onregelmatige golfvelden golffrequenties voorkomen waarvoor de transmissie beduidend kleiner is dan t.g.v. proeven met regelmatige golfvelden verwacht kan worden. Voor andere frequenties (door Ouellet en Morin resonantie-frequenties genoemd) komen de resultaten van de proeven goed met elkaar overeen.

De resonantiefrequenties kunnen in principe ook gevonden worden d.m.v. proeven met regelmatige golven, als de frequentie stapgrootte maar voldoende klein genomen wordt. Zo vonden Ouellet en Morin voor het

A-frame een transmissiecoëfficiënt van respectievelijk 0,66, 0,80 en 0,67 voor de frequenties 0,78 en 0,81 en 0,85 in proeven met regelmatige golven. Het vergt echter meer proeven om op deze manier de resonantie-frequenties te vinden.

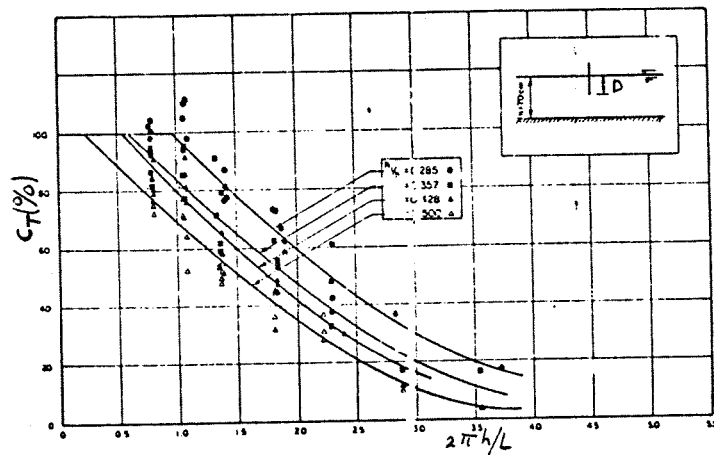


Fig. 4.12.2. Vaste plaat met variabele diepgang (D).

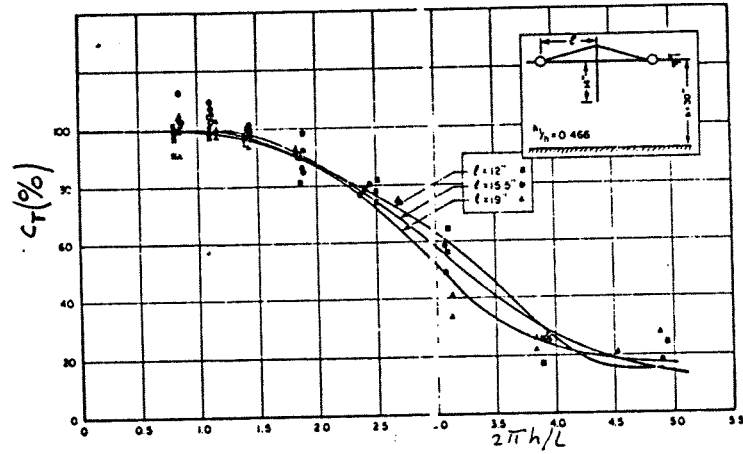


Fig. 4.12.3. A-frame met variabele breedte ($B=2\ell$), ($D=360$ mm).

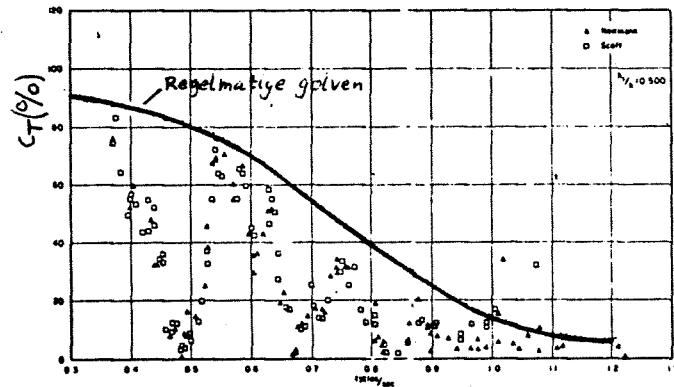


Fig. 4.12.4. Transmissiecoëfficiënt van een vaste plaat (onregelmatige golven).

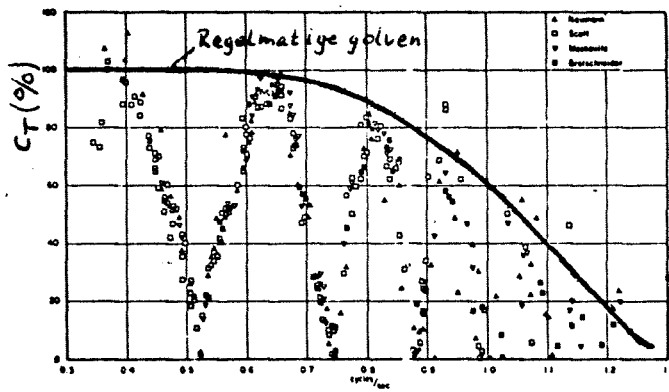


Fig. 4.12.5. Transmissiecoëfficiënt van een A-frame (onregelmatige golven).

4.13 Krachten tengevolge van golven

4.13.1 Inleiding

In vorige paragrafen zijn de t.g.v. golven optredende krachten meerdere malen aan de orde geweest. Meestal ging het om de krachtsbepaling van individuele constructies. Slechts enkele malen was het onderzoek van dusdanige aard dat de resultaten ervan algemeen toepasbaar zijn voor de krachtsbepaling.

In deze paragraaf wordt een overzicht gegeven van de factoren die van belang zijn voor de bepaling van de op golfdempende constructies werkende golfkrachten. Zoveel mogelijk wordt ook aangegeven hoe die krachten bepaald kunnen worden.

Voor de bepaling van golfkrachten op constructies zijn 2 factoren van belang:

- a) De aard van de golven
- b) De aard van de constructie

ad a

Met de aard van de golven wordt hier bedoeld of de golven ongebroken, brekend of gebroken zijn. Deze indeling is o.a. van belang bij de bepaling van de maatgevende golfhoogte. Zo zullen golven in het geval van een beperkte waterdiepte niet groter kunnen worden dan een bepaalde waarde. Dat beperkt dan ook de krachten die op de constructie kunnen werken. Is de waterstand echter variabel, dan is ook de maximale golfhoogte variabel, evenals de golfkracht waarmee gerekend moet worden.

ad b

De aard van de constructie speelt een grote rol bij de bepaling van de krachten die op kunnen treden. Zo maakt het verschil of de constructie vast is, of drijvend. Een vaste constructie ondervindt in het algemeen grotere krachten dan een (verankerde) drijvende constructie. Dit is vooral een gevolg van het feit dat een vaste constructie golven beter dempt dan een vergelijkbare drijvende constructie, waardoor een vaste constructie meer energie af moet voeren.

Ook de stijfheid van de constructie speelt een rol. Zo is een slappe constructie vaak beter in staat golfklappen te verwerken dan een stijve constructie.

In het navolgende worden een aantal berekeningwijzen gegeven, waarmee golfkrachten op constructies kunnen worden bepaald.

4.13.2 Golfkrachten op vaste constructies

Ter bepaling van golfkrachten op vaste constructies wordt als basisgeval een vaste wand, doorlopend over de gehele waterdiepte, gebruikt. Voor ongebroken golven kan de benadering van Sainflou worden gebruikt. Sainflou gaat uit van trochoïde golven i.p.v. sinusvormige golven (figuur 4.13.2.1).

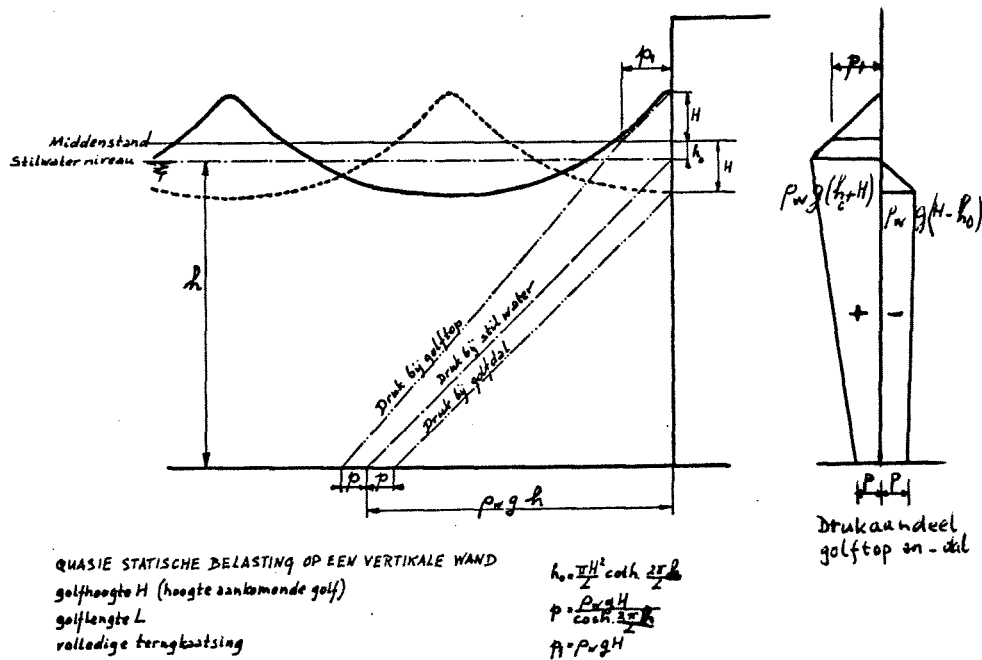


Fig. 4.13.2.1. Belasting op een verticale wand volgens Sainflou.

Aan de hand van de drukken kunnen de resulterende krachten worden bepaald. Dit gebeurt door integratie over de hoogte.

Voor de bepaling van de krachten op constructies die niet over de gehele waterdiepte doorlopen kan worden uitgegaan van dat gedeelte van de golfdruk waarvoor de constructie aanwezig is (figuur 4.13.2.2).

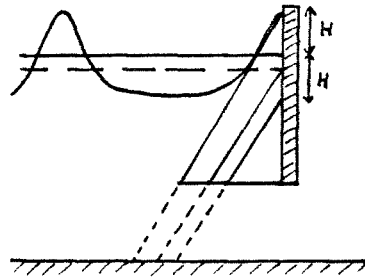


Fig. 4.13.2.2. Belasting op een niet-dooropende wand.

De hoogte van de inkomende golven die tegen de constructie staan, is afhankelijk van de mate van reflectie. Zo zal in het geval van volledige reflectie en recht aankomende golven de hoogte van de staande golven 2 maal zo hoog zijn als de ongestoorde golfhoogte. Bij minder reflectie zal de golfhoogte kleiner zijn. De reflectie hangt af van een aantal factoren:

- 1- De grootte van de opening in de constructie (zie de paragrafen 3.2 en 3.6).
- 2- De hoek van golfinval.
- 3- Constructie-eigenschappen als ruwheid en doorlatendheid. Deze worden hier buiten beschouwing gelaten.

De invloed van de hoek van golfinval op de reflectiecoëfficiënt is beschreven in Wiegel [1964], voor het geval van een verticale ondoorlatende wand (figuur 4.13.2.3).

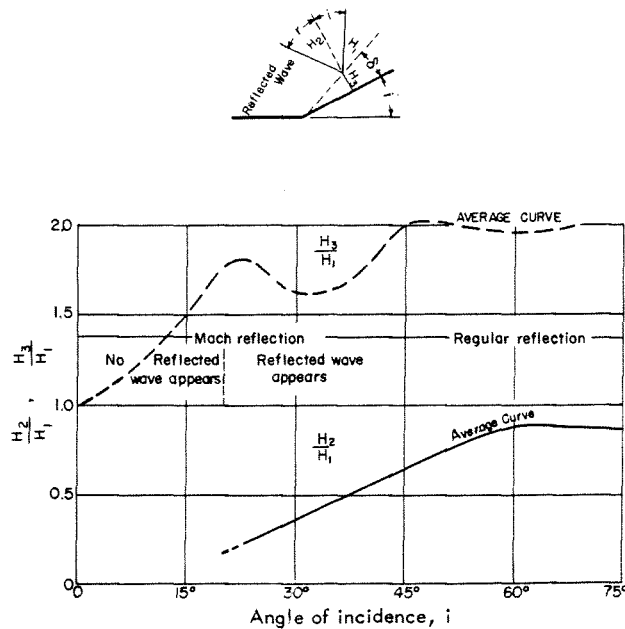


Fig. 4.13.2.3. Reflectie van enkelvoudige golven.

Het blijkt, dat als de hoek i tussen de golfkam en de normaal van de constructie kleiner is dan 20° er geen reflectie optreedt, doordat de golven afbuigen en evenwijdig aan de constructie gaan lopen (het zgn. Mach-effect). Voor hoeken tussen 20° en 45° zijn er 3 golven aanwezig: de inkomende golf I (met hoogte H_1), de gereflecteerde golf R (met hoogte H_2) en de golf M (met hoogte H_3) die evenwijdig aan de constructie loopt. De breedte van de golf groeit langzaam aan. Voor hoeken groter dan 45° treedt alleen normale reflectie op, dan is H_3 de golfhoogte bij het scherm.

Een voorbeeld: Stel de reflectiecoëfficiënt van een golfscherm is $C_R = 0,5$ (voor loodrecht invallende golven, $i = 90^\circ$). Is $i = 30^\circ$, dan is de golfhoogte bij het scherm $H_3 \approx 1,8 H_1$, wat duidt op een reflectiecoëfficiënt $C_R = 0,8$. De reflectiecoëfficiënt van het geheel is dan $C_R = 0,5 \cdot 0,8 = 0,4$.

Voor de bepaling van de krachten t.g.v. brekende golven kan de methode Minikin (Shore Protection Manual [1973]) gebruikt worden. Enige voorzichtigheid bij het gebruik van deze methode is geboden, daar de zo berekende krachten erg groot zijn.

Minikin gaat uit van een parabolisch verloop van de door golven veroorzaakte druk tegen de constructie (figuur 4.13.2.4).

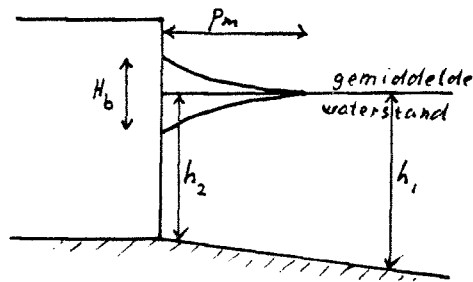


Fig. 4.13.2.4. Drukverdeling t.g.v. brekende golven (dynamische deel).

De maximale druk (op het niveau van de gemiddelde waterstand) is volgens Minikin:

$$p_m = 101 \rho g \frac{H_B}{L_1} \frac{h_1}{h_2} (h_1 + h_2)$$

waarin: H_B = breker golfhoogte
 L_1 = golflengte op waterdiepte h_1
 h_1 = diepte één golflengte voor de constructie
 h_2 = diepte t.p.v. de constructie
 ρ = soortelijk gewicht van water
 g = versnelling van de zwaartekracht

De kracht werkend op de constructie wordt bepaald met: $F = p_m H_B / 3$.

Werkt de druk maar op een gedeelte van de constructie, dan kan een reductiefactor worden toegepast. De reductiefactor kan worden bepaald m.b.v. figuur 4.13.2.5. De gereduceerde kracht wordt berekend met: $F_R = r_m F$.

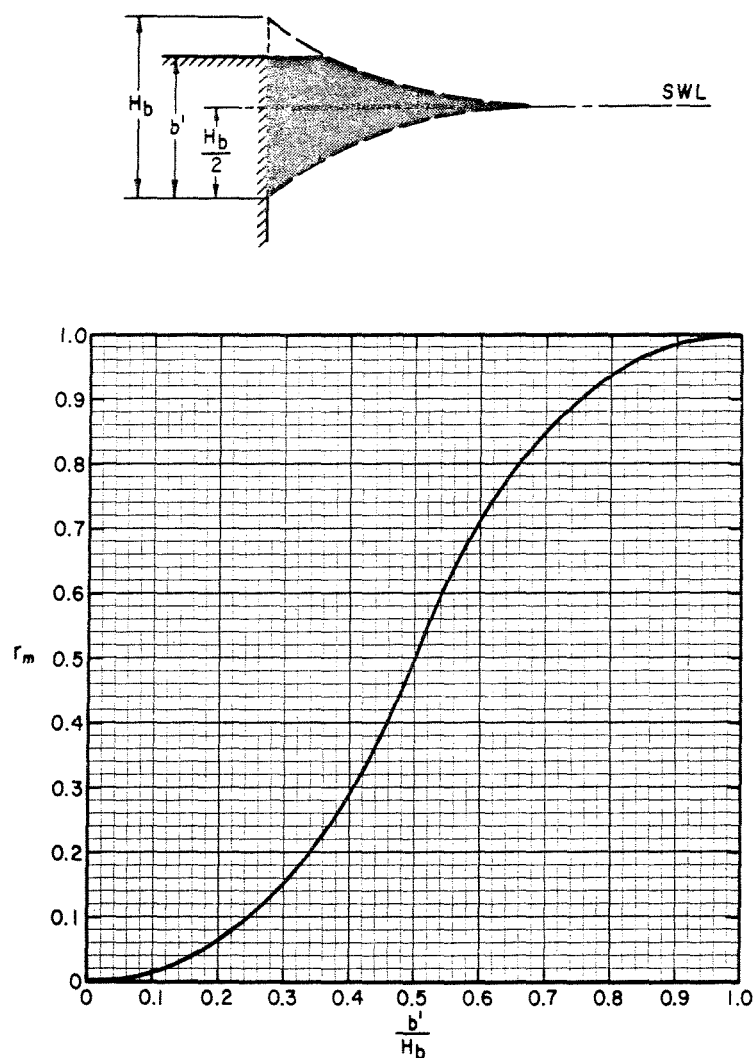


Fig. 4.13.2.5. Minikin kracht reductie factor.

Als brekende golven onder een hoek een constructie naderen, zal de drukcomponent (t.g.v. de golven) kleiner zijn dan in het geval van loodrecht aankomende golven. Volgens de Shore Protection Manual kan de kracht worden gereduceerd tot (figuur 4.13.2.6):

$$F' = F \cos^2 \beta,$$

met

β = golfinvalshoek

F = kracht t.g.v. loodrecht invallende golven

F' = gereduceerde kracht t.g.v. schief invallende golven

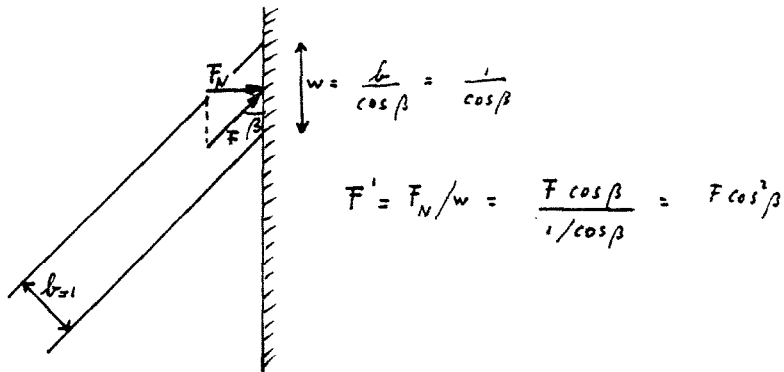


Fig. 4.13.2.6. Kracht bij schief invallende golven.

Als golven breken, op bijvoorbeeld een zandbank, vóórdat ze een constructie bereiken, komen ze gebroken bij de constructie aan. Voor de bepaling van de daaruit voortvloeiende krachten wordt uitgegaan van de volgende benadering (Shore Protection Manual): Aangenomen wordt dat direct na breken de watermassa in de golven zich voortplant met de snelheid van de golven juist voor het breken. Deze turbulente watermassa beweegt zich dan voort met die snelheid tot aan de constructie. De op de constructie uitgeoefende druk t.g.v. de gebroken golven is dan

$$p = \rho g \frac{c^2}{2g},$$

waarin: c = voortplantingssnelheid

p_m = maximale druk

Voor de voortplantingssnelheid kan genomen worden: $c = \sqrt{gh_b}$, als h_b de diepte is waarop de golven breken.

Nu moet nog bepaald worden over welke hoogte van de constructie deze druk wordt uitgeoefend. Hiervoor wordt uitgegaan van het gegeven (Wiegel [1964]), dat ca. 78% van de golfhoogte bij breken (H_b) zich boven het stil waterniveau bevindt, zodat de hoogte waarover de constructie wordt aangevallen $h_c \approx 0,78 H_b$ is (figuur 4.13.2.7).

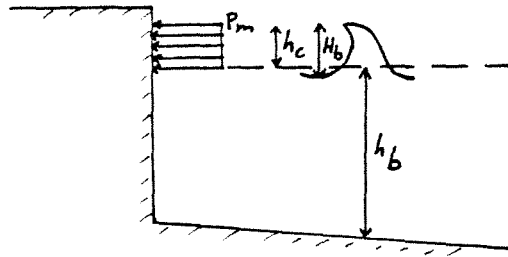


Fig. 4.13.2.7. Drukverdeling t.g.v. gebroken golven (dynamische deel).

De kracht op een constructie, uitgeoefend door gebroken golven is:

$$F = p_c h_c = \rho g \frac{c^2}{2g} h_c$$

Is de constructie lager dan h_c , dan moet i.p.v. h_c de constructiehoogte worden aangehouden.

Ook hier geldt, net als bij brekende golven, dat de kracht kleiner wordt, naarmate de golfinvalshoek groter wordt (figuur 4.13.2.6). De gereduceerde kracht $F' = F \cos^2 \beta$ (Shore Protection Manual).

4.13.3 Golfkrachten op drijvende constructies

Voor een vrijdrijvende constructie kunnen de erop werkende golfkrachten worden berekend uit de golfdrukverdeling

$$p = -gz + \frac{1}{2} \rho g H \frac{\cosh(k(z+h))}{\cosh kh} \cos(kx - \omega t)$$

waarin: z = verticale as (vanaf gemiddelde waterstand omhoog)

H = golfhoogte

$k = 2\pi/L$ = golfgetal, L = golflengte

h = waterdiepte (bodem op $z = -h$)

x = horizontale as (in golfvoortplantingsrichting)

t = tijd

ω = golffrequentie

T = golfperiode

Door de druk te integreren over de hoogte van de constructie wordt de horizontale kracht gevonden:

$$F = \frac{1}{2} \rho g D^2 + \frac{1}{2} \rho g \frac{H}{k} f_k \cos(kx - \omega t)$$

waarin: $f_k = [\sinh(kh) - \sinh(kh - kD)] / \cosh kh$
 D = diepgang van de constructie

Het probleem van een verankerde drijvende constructie is gecompliceerder dan het probleem van een niet verankerde constructie. Er zijn, buiten de golfperiode, 3 extra bewegingsperioden (deinen, verzetten, rollen), en de door de verankering veroorzaakte tegenwerkende kracht (t.g.v. elasticiteit en kabelgewicht) is meestal niet lineair. Om de bewegingen en de krachten te bepalen moeten de bewegingsvergelijkingen (voor 3 vrijheidsgraden indien de situatie 2-dimensionaal worden verondersteld) worden opgelost. De bewegingsvergelijking in x-richting is:

$$a_x \frac{d^2 x}{dt^2} + b_x \frac{dx}{dt} + (c_x + d_x)x = F(t) + F_p$$

waarin: a_x = hydrodynamische massa (massa + toegevoegde watermassa)
 b_x = hydrodynamische coëfficiënt (damping)
 c_x = hydrostatische coëfficiënt (tegenwerkende "kracht")
 d_x = veerstijfheid ankerkabel(s)
 $F(t)$ = golfkracht
 F_p = voorspankracht in kabel(s)

De veerstijfheid van de ankerkabel is de verhouding tussen kabelkracht en uitrekking van de kabel. Voor de overige vrijheidsgraden gelden soortgelijke vergelijkingen, zodat een stelsel vergelijkingen opgelost moet worden. Omdat het oplossen van het stelsel bewegingsvergelijkingen een complexe zaak is, zullen hier alleen een aantal eenvoudige gevallen worden behandeld.

Golfdempende constructies halen op één of andere manier een hoeveelheid energie uit de golven. Dat betekent dat dergelijke constructies een gemiddelde horizontale kracht ondervinden. Deze kracht kan groot zijn. Vooral van belang is echter dat deze kracht niet kan worden verkleind door de verankering flexibeler te maken. Volgens Longuet-Higgins [1977]

kan de grootte van de gemiddelde kracht als volgt worden bepaald. In golven is een gemiddelde hoeveelheid impulsie aanwezig. De grootte daarvan is:

$$I = \frac{1}{2} \rho g a^2 / c$$

waarin: a = golfamplitude

c = golfvoortplantingssnelheid

Als c_g de groepssnelheid van de golven is, dan is de impulsiestroom I_{c_g} . In diep water is $c_g = \frac{1}{2}c$, zodat dan de impulsiestroom is:

$$I_{c_g} = \frac{1}{4} \rho g a^2 \quad (\text{per oppervlakte-eenheid})$$

Als een constructie alle energie, en dus ook alle impulsie, uit de golven haalt, is die constructie onderhevig aan een gemiddelde horizontale kracht:

$$F = \frac{1}{4} \rho g a^2$$

Bij volledige reflectie wordt de impulsie volledig omgekeerd, waardoor de kracht verdubbelt. In het algemeen zal bij gedeeltelijke terugkaatsing en gedeeltelijke doorlating van de golven de constructie blootstaan aan een gemiddelde kracht:

$$F = (I_{c_g})_i + (I_{c_g})_r - (I_{c_g})_t$$

De termen in het rechterlid geven de impulsiestroom t.g.v. respectievelijk de inkomende, de gereflecteerde en de getransmitteerde golven weer. In diep water wordt de kracht:

$$F = \frac{1}{4} \rho g (a_i^2 + a_r^2 - a_t^2)$$

met a_i , a_r en a_t de respectievelijke golfamplituden.

In water met een eindige diepte wordt de kracht:

$$F = \frac{1}{4} \rho g (a_i^2 + a_r^2 - a_t^2) (1 + 2kh / (\sinh 2kh))$$

omdat $c_g/c = \frac{1}{2} + kh/(\sinh 2kh)$, met $k = 2\pi/L =$ golfgetal. Deze kracht staat bekend als de drifkracht.

Bovenstaande is door Longuet-Higgins experimenteel geverifieerd. Voor een zgn. Cockerell golfvlot, bestaande uit zes scharnierend aan elkaar bevestigde drijvers, zijn de verankeringskrachten bepaald. De gemeten krachten zijn uitgezet tegen

$$WF = \frac{1}{2}\rho gW(a_i^2 + a_t^2 - a_r^2)$$

waarin: W = de breedte van de golfgoot (figuren 4.13.3.1 en 4.13.3.2). Bovendien is uitgezet

$$\frac{1}{2}\rho gW(a_i^2 + a_r^2 - a_t^2) (1 + 2kh/(\sinh 2kh))$$

Er is een duidelijke overeenkomst tussen theorie en praktijk. Ook voor een meer absorberende constructie, een Salter "duck", is deze overeenkomst groot (figuur 4.13.3.3). Alleen voor brekende golven is de overeenkomst een stuk minder.

Met behulp van het voorgaande kunnen de gemiddelde krachten worden berekend die op zullen treden in de verankering van drijvende golfdempende constructies.

Voor enkele bijzondere gevallen kan, uitgaande van de gemiddelde kracht, een schatting worden gemaakt van de piekkracht. Daarvoor moet het krachtverloop in de tijd bekend zijn. Het (geïdealiseerde) krachtdiagram van een drijvende golfdempende constructie opgebouwd uit banden ziet er volgens Galvin en Giles [1979] uit als figuur 4.13.3.4 (voor condities die hoge ankerkrachten veroorzaken).

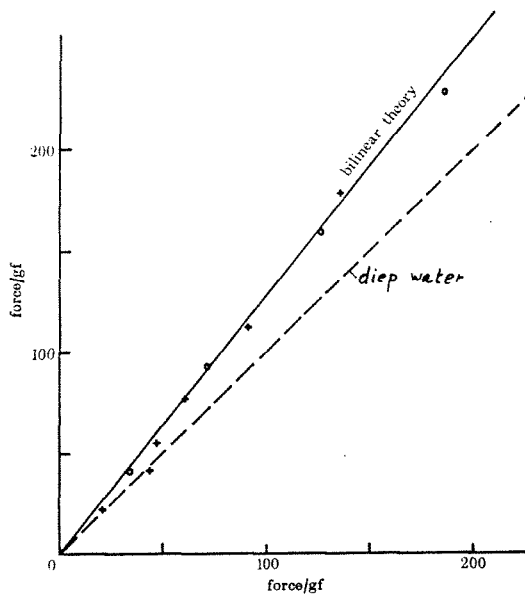


Fig. 4.13.3.1. Gemiddelde horizontale kracht op een golfvlot ($T=1s$; $h=0,36m$).

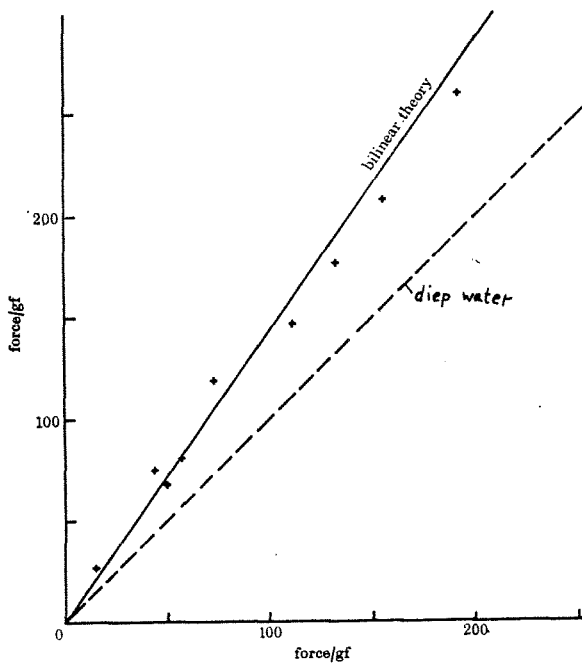


Fig. 4.13.3.2. Gemiddelde horizontale kracht op een golfvlot ($T=1s$; $h=0,25m$).

Mean forces exerted by waves

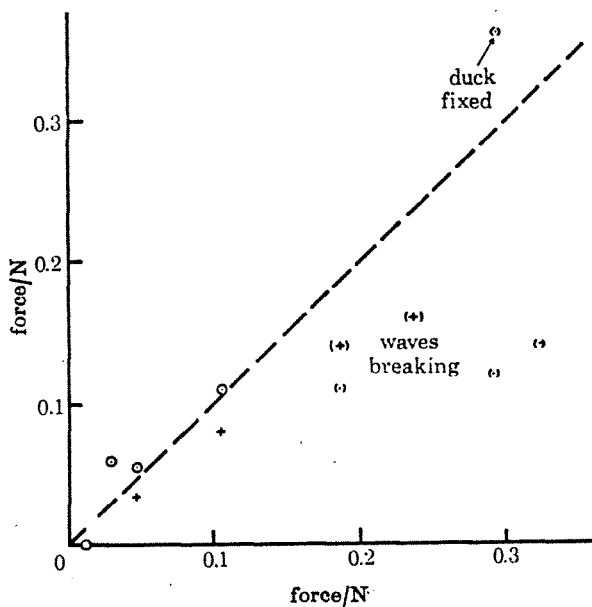


Fig. 4.13.3.3. Gemiddelde horizontale kracht op een Salter 'duck'.

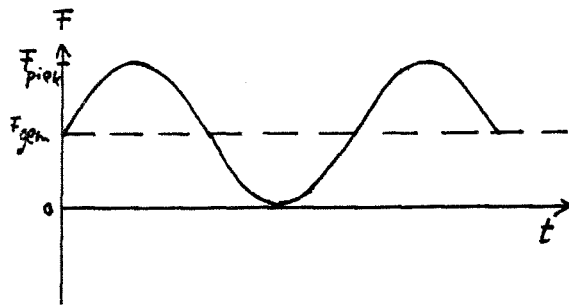


Fig. 4.13.3.4. Krachtdiagram van een golfdempende constructie bestaande uit autobanden (extreme condities).

Galvin en Giles verklaren dit verloop uit het feit dat een dergelijke constructie meestal breder is dan een kwart golflengte, zodat weerstands- en traagheidskrachten elkaar grotendeels opheffen. De driftkracht wordt daardoor de belangrijkste kracht waarmee gerekend moet worden.

Voor figuur 4.13.3.4 is uitgegaan van een vrij stijve verankering (strakke ankerlijnen), omdat de golfdempende werking van de constructie afhankelijk is van de relatieve snelheidsverschillen tussen constructie en vloeistof; als de constructie meebeweegt met de golven worden de verschillen kleiner.

Uit figuur 4.13.3.4 volgt dat de piekkracht kleiner of gelijk is aan 2 maal de gemiddelde kracht: $F_{\text{piek}} \leq 2F_{\text{gem}}$ (Als F altijd groter dan 0 is, is $F_{\text{piek}} < 2F_{\text{gem}}$).

Figuur 4.13.3.4 geldt voor condities waarbij hoge ankerkrachten worden veroorzaakt. Onder minder extreme omstandigheden ziet het krachtdiagram er meer uit als figuur 4.13.3.5. De piekkracht is dan groter dan 2 maal de gemiddelde kracht.

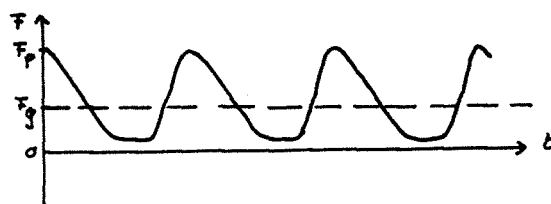


Fig. 4.13.3.5. Krachtdiagram van een golfdempende constructie bestaande uit autobanden ("gemiddelde" condities).

Voor de bepaling van de piekkrachten die een golfdempende constructie bestaande uit autobanden ondervindt, heeft Harms [1979] een andere benadering toegepast. Hij komt tot de volgende empirische vergelijking voor de bepaling van de kracht (dimensieloos):

$$\frac{F}{\rho g B^2} = k_0 \left(\frac{H}{L}\right)^2 \left(\frac{L}{B}\right) \tanh\left(\frac{L}{B}\right)$$

of:

$$\frac{F}{\rho g H^2} = k_0 \left(\frac{B}{L}\right) \tanh\left(\frac{L}{B}\right)$$

waarin: B = constructiebreedte

L = golflengte

H = golfhoogte

k_0 = constante, afhankelijk van het constructietype

Een vergelijking van gemeten en berekende waarden (figuur 4.13.3.6) laat een goede overeenkomst zien.

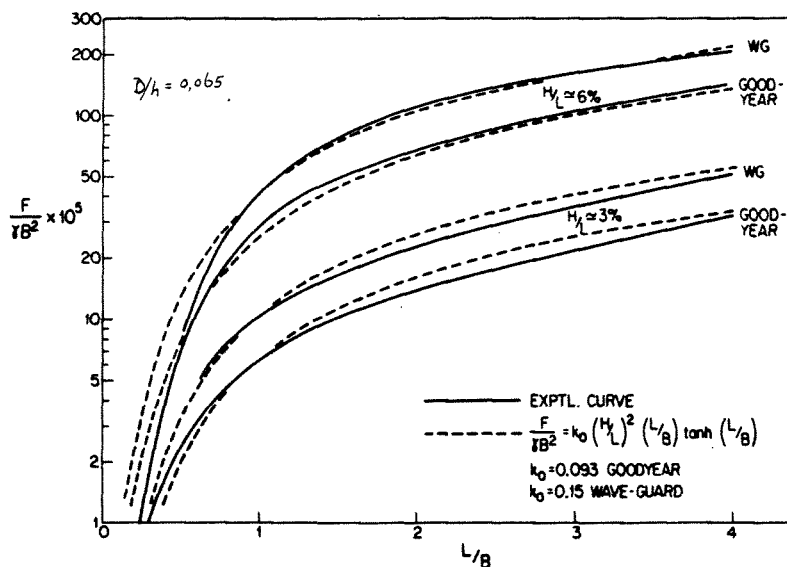


Fig. 4.13.3.6. Empirische kracht reactie.

Een stijve constructie die slap verankerd is, bijv. een houten vlot met lange ankerdraden, ondervindt in de ankerdraden ook krachten met een verloop volgens figuur 4.13.3.5: een snelle toename van de kracht zodra de draden strak gaan staan en een geleidelijke afname daarna. De piekkracht zal dus groter zijn dan 2 maal de gemiddelde kracht.

Relatief smalle drijvende constructies (smal t.o.v. de golflengte) zullen, willen ze de golven nog redelijk dempen, vrij stijf verankerd moeten zijn. Zou dat niet het geval zijn, dan wekken ze door hun bewegingen nieuwe golven op. Vanwege die stijve verankering kunnen dergelijke constructies in eerste instantie als vaste constructies worden beschouwd. De krachten kunnen dan worden berekend als in paragraaf 4.13.2.

Naast bovenstaande berekeningsmethoden voor gemiddelde krachten en piekkrachten zijn ook meetgegevens bekend van een aantal drijvende constructies. Volgens Hales [1974] varieert de ankerkracht van 2 tot 6% van het constructiegewicht (A-frame respectievelijk een met polystyreen gevuld betonnen ponton). Verder noemt Hales het al eerder vermelde krachtverkleinende effect van een toenemende constructielengte (dimensie loodrecht op de golfvoortplantingsrichting): een constructie die 4 tot 5 maal zo lang is als de golflengte ondervindt door "middeling" belangrijk kleinere krachten dan uit 2-dimensionale golfgootproeven verwacht zou worden.

Er zijn dus een aantal methoden voor het bepalen van verankeringskrachten van drijvende constructies. Zolang golven niet breken kunnen de gemiddelde krachten goed worden berekend met de methode van Longuet-Higgins, uitgaande van de hoeveelheid energie die uit de golven wordt gehaald. In sommige gevallen kan, uitgaande van de gemiddelde kracht, ook de piekkracht worden bepaald: bij een sinusvormig krachtsverloop is de piekkracht ongeveer 2 maal zo groot als de gemiddelde kracht. Voor constructies opgebouwd uit autobanden kunnen de piekkrachten bepaald worden met de methode van Harms. Is een nauwkeuriger analyse van de verankeringskrachten gewenst, dan moet gebruik worden gemaakt van de bewegingsvergelijkingen. Voor de oplossing van het stelsel bewegingsvergelijkingen moet een numerieke methode worden gebruikt. Dit komt vooral in aanmerking bij de uiteindelijke dimensionering van een golfdempende constructie. Voor een eerste benadering van de krachten komen de andere methoden meer in aanmerking. Echter, omdat het verankeringsstelsel een erg belangrijk onderdeel van een drijvende golfdempende constructie is, en er nog maar relatief weinig prototype gegevens zijn ter toetsing, moet de nodige voorzichtigheid in acht worden genomen bij de bepaling van de krachten.

5. HYDRAULISCHE EN MORFOLOGISCHE VERANDERINGEN T.G.V. GOLFDEMPENDE CONSTRUCTIES

5.1 Inleiding

Golfdempende constructies beïnvloeden het golfklimaat. Daardoor zullen dergelijke constructies invloed hebben op de hydraulische en morfologische processen die door de golven worden opgewekt. In de volgende paragrafen worden kort de mogelijke gevolgen van golfdemping besproken.

5.2 Door golven veroorzaakte profielveranderingen

5.2.1 Inleiding

Golven kunnen bij oevers zandtransport veroorzaken. Komen golven loodrecht op de oever aan, dan kan zandtransport optreden eveneens loodrecht op de oever. Dit transport kan zowel naar de oever toe als van de oever af plaatsvinden. De richting hangt samen met het optredende golfklimaat (H en L) en bodemparameters (D_{50} , bodemhelling).

In langsrichting kan door golven opgewoeld zand met de door golven opgewekte stroming worden meegevoerd.

5.2.2 Evenwichtsprofielen

Een bodemprofiel is in evenwicht als evenveel zand wordt aangevoerd als afgevoerd. Verscheidene onderzoekers hebben onderzocht onder welke omstandigheden zich zo'n evenwichtsprofiel instelt. Daarbij is naar voren gekomen dat als golven te hoog of te steil zijn voor een profiel, het profiel zich aanpast door flauwer te worden. Als daarentegen de golven te laag of niet steil genoeg zijn, dan wordt het profiel steiler (als zandaanvoer mogelijk is). Als profiel en golven bij elkaar passen is er evenwicht.

Een aantal onderzoekers heeft relaties gevonden tussen golfparameters (H en L) enerzijds, en bodemparameters (D_{50} , bodemhelling) anderzijds. Hun resultaten gelden echter alleen voor loodrecht op de oever aankomende golven. Wat gebeurt bij scheef invallende golven is nog onbekend.

Sunamura en Horikawa [1974] vonden de volgende relatie:

$$\frac{(H_o/L_o)(\tan \alpha)^{0,27}}{(D_{50}/L_o)^{0,67}} = C$$

met

α = bodemhelling (initiële helling in modelproeven, gemiddelde helling tussen de 20 m dieptelijn en het stil water niveau in het prototype)

H_o = golfhoogte op diep water

L_o = golflengte op diep water

D_{50} = korreldiameter

C = constante

In figuur 5.2.2.1 zijn hun meetresultaten weergegeven. Aanzanding in het prototype treedt op als $C < 9$, erosie als $C > 18$. Voor $9 < C < 18$ zijn de profielen min of meer in evenwicht.

Een gelijksoortige relatie is gevonden door Hattori en Kawamata [1980]:

$$\frac{(H_o/L_o)\tan \beta}{w/(gT)} = C$$

met

β = bodemhelling bij de waterlijn

w = valsnelheid van de zandkorrels in water

T = golfperiode

In dit geval is het profiel min of meer in evenwicht voor $C_T = 0,5$. Bij grotere C_T 's treedt erosie op, bij kleinere aanzanding (figuur 5.2.2.2).

De evenwichtsprofielen zelf kunnen berekend worden met een formule van Swart [1974]. Voor het gebruik van die (ingewikkelde) formule wordt verwezen naar diens publikatie.

Evenwichtsprofielen stellen zich pas in als gedurende lange tijd dezelfde golfparameters heersen bij een constante waterstand. Treedt variatie op in de golfparameters of de waterstand, dan probeert het profiel zich steeds aan de nieuwe omstandigheden aan te passen.

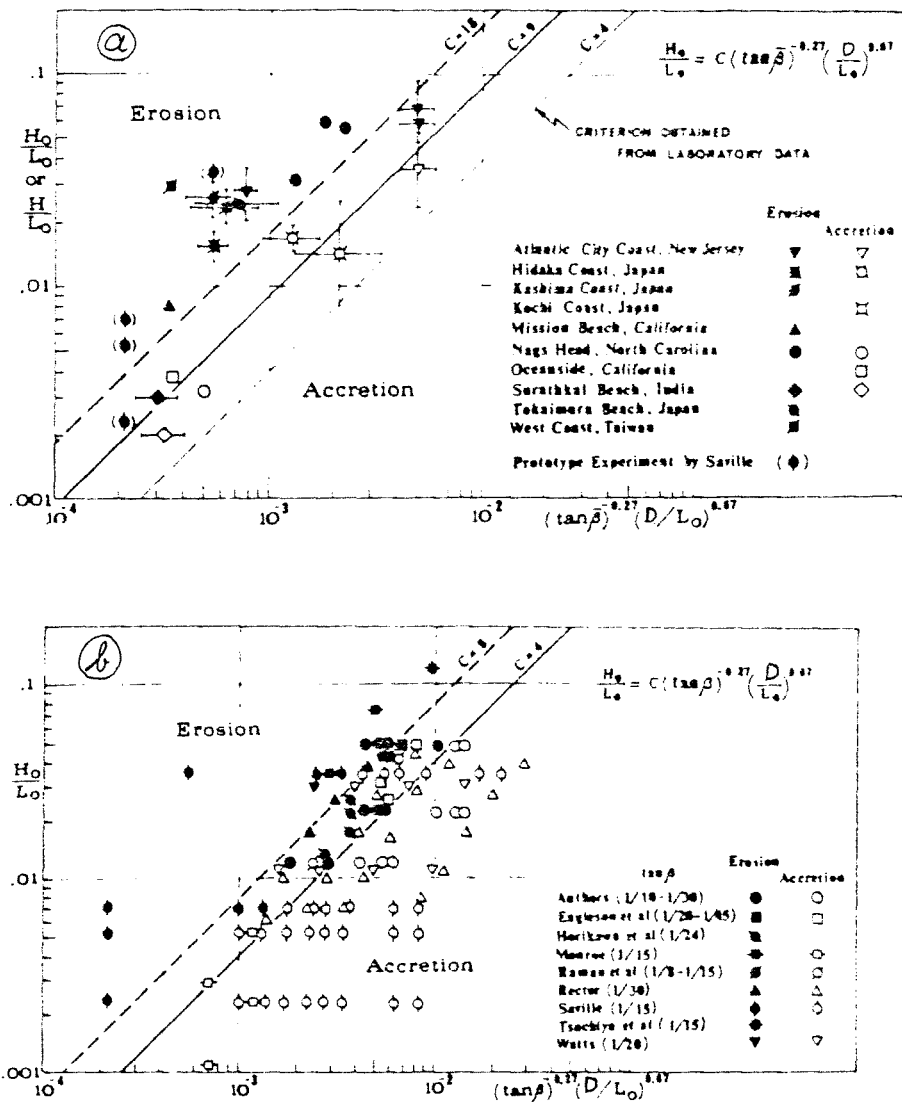


Fig. 5.22.1. Indeling aangroei en erosieprofielen op basis van prototype (a) en model (b) proeven (Sunamura & Horikawa).

5.3 Invloed van golfdempende constructies

De in de vorige paragraaf behandelde relaties tussen golfparameters en bodemparameters zijn dan wel niet algemeen toepasbaar, ze geven wel aan welke parameters een rol spelen in het aanzandings- en erosieproces.

Normaal gesproken past het bodemprofiel zich aan aan het heersende golfklimaat. Het lijkt echter ook mogelijk om een bepaald bodemprofiel te handhaven door te manipuleren met de golfparameters: door golven lager of minder steil te maken kan in principe een eroderend profiel overgaan in een aangroeiend profiel.

Er zijn echter een aantal factoren die tegen kunnen werken:

- a. waterstandsverhoging
- b. groei van de gedempte golven door wind
- c. scheef invallende golven

ad a

Golven die aankomen op een oever zullen op een gegeven ogenblik gaan breken. Bij een hoge waterstand doen ze dat later (dichter bij de oever) dan bij een lage waterstand. Dezelfde hoeveelheid golfenergie moet bij een hoge waterstand over een kortere afstand en op een steilere bodem vernietigd worden dan bij een lage waterstand, zie figuur 5.3.1. Is bij de lage waterstand het profiel in evenwicht, dan zal bij de hoge waterstand erosie optreden, waardoor het profiel vlakker wordt.

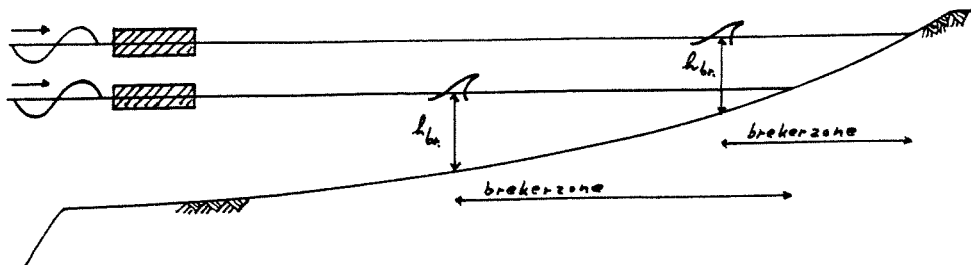


Fig. 5.3.1. Grootte van de brekerzone bij verschillende waterstanden.

Achter golfdempende constructies kan als compensatie van een lagere golfspanning een waterstandsverhoging optreden (de golfspanning is evenredig met het kwadraat van de golfhoogte, Longuet-Higgins [1977]). Door de hogere waterstand kan, ondanks de gereduceerde golfhoogte, toch nog erosie van de oever plaatsvinden.

Door de waterstandsverhoging achter de constructie en het daarmee gepaard gaande verval over de constructie kan een stroming onder de constructie door ontstaan. Daardoor kan ook erosie worden veroorzaakt. In hoeverre dit een reëel gevaar is zal nog nader moeten worden onderzocht.

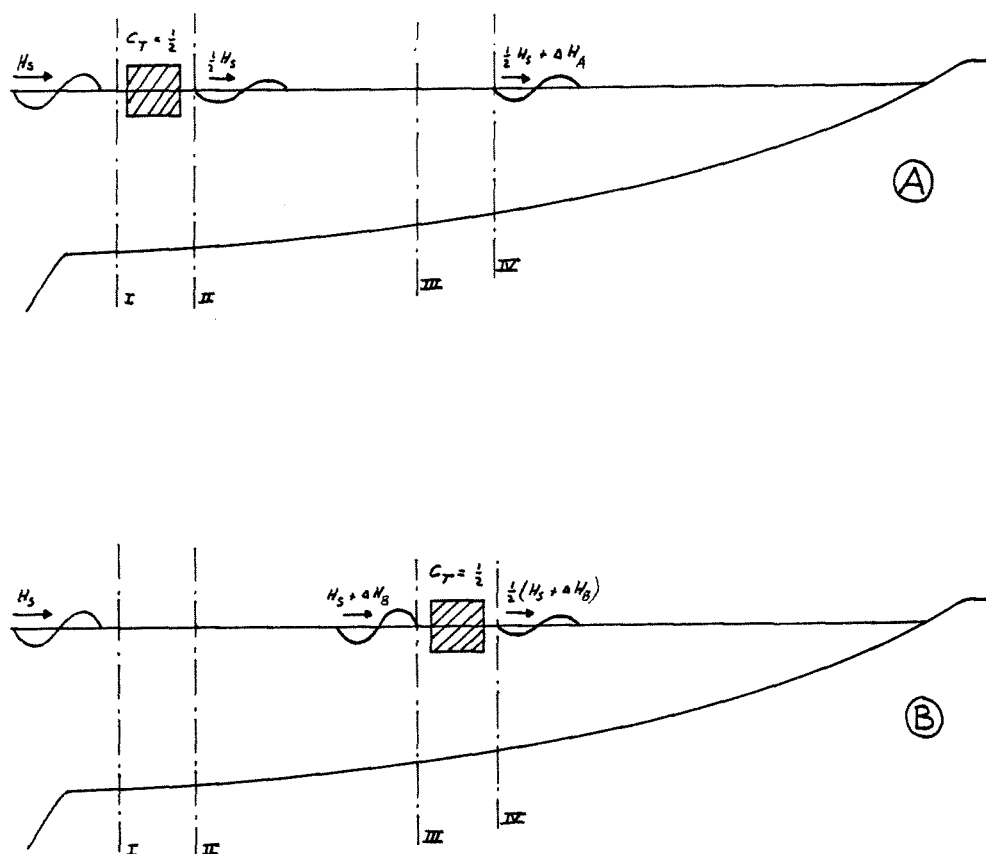


Fig. 5.3.2. Golfgroei na het passeren van een golfdempende constructie.

ad b

Als de golfdempende constructies relatief ver van de oever liggen, bijv. met het doel om ook een flink stuk van de ondiepe vooroever te beschermen, bestaat de mogelijkheid dat door golfgroei een gedeelte van de damping teniet wordt gedaan. Een voorbeeld is gegeven in figuur 5.3.2. In de figuur worden 2 situaties vergeleken: een situatie waarin de constructie ver van de oever ligt, en een situatie waarin de constructie relatief dichtbij de oever ligt. Beide constructies reduceren de golfhoogte met de helft. In situatie B zullen de golven tussen doorsnede I en doorsnede III nauwelijks kunnen groeien, doordat ze al min of meer volgroeid zijn. In situatie A daarentegen zullen de golven na het passeren van de constructie door hun lager energieniveau weer vrij gemakkelijk (wind)energie op kunnen nemen. Derhalve zal de golfgroei ΔH_A groter zijn dan ΔH_B . Daardoor zijn in situatie A bij doorsnede IV hogere golven aanwezig dan in situatie B bij doorsnede IV.

ad c

Scheef aankomende golven veroorzaken ook een langstransport langs de oever. Dit transport vindt vooral in de brekerzone plaats. Een golfdempende constructie kan door verlaging van de golven wel de brekerzone smaller maken, maar niet het langstransport opheffen. Blijkt nu dat langstransport een belangrijke bijdrage levert aan de verplaatsing van van de oever afgeslagen zand, dan is een golfdempende constructie waarschijnlijk niet het aangewezen middel om daar wat aan te doen.

LIJST VAN SYMBOLEN

symbool	definitie	dimensie	eenheid
A	amplitude	L	m
B	breedte	L	m
C_T	transmissiecoëfficiënt	-	-
C_R	reflectiecoëfficiënt	-	-
c	golfvoortplantingssnelheid		
c_g	golfgroepvoortplantingssnelheid	LT^{-1}	m/s
D	diameter	L	m
d	diepgang	L	m
E	golfenergie (per eenheid van oppervlakte)	MT^{-2}	N/m
E_D	gedissipeerde energie (per eenheid van oppervlakte)	MT^{-2}	N/m
E_R	gereflecteerde energie (per eenheid van oppervlakte)	MT^{-2}	N/m
E_T	getransmitteerde energie (per eenheid van oppervlakte)	MT^{-2}	N/m
F	kracht (per eenheid van lengte)	MT^{-2}	N/m
G	gewichtszwaartepunt	-	-
H	golfhoogte	L	m
H_I	inkomende golfhoogte	L	m
H_T	getransmitteerde golfhoogte	L	m
H_R	gereflecteerde golfhoogte	L	m
h	waterdiepte		
I	massatraagheidsmoment (per eenheid van lengte)	ML	Ns^2
j	traagheidsstraal		
k	veerconstante	MT^{-2}	N/m
k	golfgetal	L^{-1}	1/m
l	constructielengte	L	m
L	golflengte	L	m
m	massa (per eenheid van lengte)	ML^{-1}	kg/m
P	porositeitscoëfficiënt	-	-
P	vermogen	ML^2T^{-3}	W
P_I	inkomend vermogen	ML^2T^{-3}	W
P_T	getransmitteerd vermogen	ML^2T^{-3}	W
P_R	gereflecteerd vermogen	ML^2T^{-3}	W
p	druk	$ML^{-1}T^{-2}$	N/m^2
T	golfperiode	T	s
T_k	eigen trillingsperiode	T	s

LITERATUURLIJST

- Adee, B.H., and Martin, W. (1974), Theoretical Analysis of Floating Breakwater Performance.
Proc. of Floating Breakwaters Conference, pp. 21-39, Rhode Island, 1974.
- Arunachalam, V.M. and Raman, H. (1980), Design Criteria for Floating Tire Breakwater.
J. Waterway, Port, Coastal and Ocean Division, Proc. ASCE, Vol. 106, WW2, pp. 296-289, may 1980.
- Battjes, J.A. (1976), Golfspanning
Collegediktaat voor het College Korte Golven, Vakgroep Vloeistofmechanica, Afdeling Civiele Techniek, Technische Hogeschool Delft.
- Bishop, C.T. (1982), Floating Tire Breakwater Design Comparison.
J. Waterway, Port, Coastal and Ocean Division, Proc. ASCE, Vol. 108, WW3, pp. 421-426, Aug. 1982.
- Black, J.L. and Mei, C.C. (1970), Scattering and Radiation of Water Waves
Massachusetts Institute of Technology Water Resource and Hydrodynamics Laboratory Report No. 121, April 1970.
- Brebner, A. and Ofuya, A.O. (1968), Floating Breakwaters.
Proc. Eleventh Coastal Engineering Conference, pp. 1055-1094, 1968
- Breggen, van de , H.M. en Bouwmeester E.C. (1984), Wave Attenuation by a Floating Slab
Afstudeerverslag, TH Delft, Afdeling der Civiele Techniek.
- Candle, R.D. (1974), Goodyear Sorup Tire Floating Breakwater Concepts.
Proc. of Floating Breakwaters Conference, Newport, Rhode Island, 1974.
- Carven, R.D. (1979), Floating Breakwater Wave-Attention Tests for East Bay Marina, Olympia Harbor, Washington.
Technical Report HL-79-13, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksbury, Miis. June 1971.
- Colonell, J.M., Carven, C.E. en Laconture, J.M. (1974), Attenuation of Wind-generated Deep Water Waves by Pneumatic and Hydraulic Breakwaters.
Proc. of Floating Breakwaters Conference, Rhode Island.
- Dattatri, J., Raman, H. and Jothi Shankar, N. (1978), Performance Characteristics of Submerged Breakwaters.
Proc. Sixteenth Coastal Engineering Conference, Vol. III, pp. 2153-2171.
- Dean, R.G. and Ursell, F. (1959), Interaction of a Fixed, Semi- Immersed Circular Cilinder with a Train of Surface Waves.
MIT Hydrodynamics Lab. T.R. No. 37, Sept. 1959.
- Dean W.R. (1948), On the Reflection of Surface Waves by a Submerged Circular Cilinder.
Proc. Cambridge Phil. Soc., Vol. 44, pp. 483-491, 1948.
- Dean, W. R. (1945), On the Reflection of Surface Waves by a Submerged Plane Barrier.
Proc. Cambridge Phil. Soc. 41, Part 3, pp. 231-236.
- Eie, J. Troetteberg, A. and Førum, A. (1970), Forces on a pontoon in Three-dimensional Waves.
Proc. Twelfth Coastal Engineering Conference, Vol. III, pp. 1667-1684.
- Frederiksen, H.D. (1971), Wave Attenuation by Fluid Bags
J. Waterways, Harbours and Coastal Engineering Division, Proc. ASCE, Vol 97, WW2, pp. 73-90. Febr. 1971.
- Frey, K.P.H. (1974), Development of Hermaphrodite Breakwater Units Utilizing Hydrofoils in Specific Arrangements.
Proc. of Floating Breakwaters Conference, Rhode Island.
- Gabin, C. and Giles, M. (1979), Mooring Forces on Rafts from In-Line Radiation Stress.
Proc. Civil Engineering in the Oceans, Vol. I, pp. 487-503.

- Groen, P. en Dorrestein, R. (1976), Zeegolven.
Opstellen op Oceanografisch en Maritiem-Meteorologisch gebied, No. 11, K.N.M.I. 1976.
- Grüne, J. and Kohlhage, S. (1974), Wave Transmission Trough Vertical Slotted Wall.
Proc. Fourteenth Coastal Engineering Conference, Vol. III, pp. 1906-1923.
- Hales, L.Z. (1981), Floating Breakwaters: State-of-the-Art Literature Review.
U.S. Army, Corps of Engineers, Coastal Engineering Research Center.
Report No. TR 81-1.
- Harms, V.W. (1979), Design Criteria for Floating Tire Breakwaters.
J. Waterway, Port, Coastal and Ocean Division, Proc. ASCE, Vol. 105, WW2
pp. 149-170, May 1979.
- Harms, V.W. (1980), Floating Breakwater Performance Comparison.
Proc. Seventeenth Coastal Engineering Conference, Vol. III, pp. 2137-2158, 1980.
- Harms, V.W., Westerink, J.J., Sorenson, R.M. and McTamany, J.E. (1982), Wave Transmission and Mooring-Force Characteristics of Pipe-Tire Floating Breakwaters.
U.S. Army, Corps of Engineers, Coastal Engineering Research Center, Report No. TP82-4
- Harris & Sutherland (1976), A summery of tests carried out at Imperial College, London.
to develop the Deltawing Floating Breakwater, 1976.
- Hattori, M. Kawamata, R. (1980), Onshore-Offshore Transport and Beach Profile Change.
Proc. Seventeenth Coastal Engineering Conference, Vol. II, pp. 1175-1194.
- Hijum, E. van en Pilarczyk, K.W. (1982), Gravel Beaches, Equilibrium Profile and Longshore Transport of Coastal Material under Regular and Irregular Wave Attack.
Waterloopkundig Laboratorium, Publicatie nr. 274, Delft.
- Ijima, T., Chou, C.R. and Yoshida, A. (1976), Method of Analyses for Two-Dimensional Water Wave Problems.
Proc. Fifteenth Coastal Engineering Conference, Vol. III. pp. 2717-2736, Jul. 1976.
- Ippen, A.T. (1966), Estuary and Coastline Hydrodynamics.
McGraw-Hill Book Company, Inc., N.Y., U.S.A., 1966.
- Isaacson, M. de St. G. and Fraser, G. (1979), Effect of Moorings on Floating Breakwater Response.
Proc. of the Civil Engineering in the Oceans, IV, Vol. 1, San Francisco, Calif. 1979, pp. 471-486.
- Iwagaki, Y., Asano T. and Honda T. (1978), Combination effect of Pneumatic Breakwater on Wave Damping.
Proc. Sixteenth Coastal Engineering Conference, Vol. III, pp. 2172-2190, 1978.
- John, F. (1949, 1950), On the Motion of Floating Bodies, I, II.
Communications on Pure and Applied Mathematics, Vol. 2, pp. 13-57, 1949, Vol. 3, pp. 45-100, 1950.
- Johnson, J.W., Fuchs, R.A. and Morison, J.R. (1951), The Damping Action of Submerged Breakwaters.
Frans. Amer. Geophys. Union 32.5, pp. 704-718.
- Jones, D. (1971), Transportable Breakwaters- a Survey of Concepts.
Technical Report R727, Naval Civil Engineering Lab. Port Hueneme, California.
- Jones, D.B., Lee, J.J., Raichlen, F. (1979), A Transportable Breakwater for Nearshore Applications.
Proc. Civil. Engineering in the Ocean, Vol. I, pp. 433-456.
- Kakumo, S. (1983), Reflection and Transmission of Waves Through Vertical Slit-Type Structure.
Proc. Coastal Structures '83, pp. 939-952, 1983.

- Kamel, A. M. and Davidson, D.D. (1968), Hydraulic Characteristics of Mobile Breakwaters Composed of Tires and Spheres.
Technical Report No. H-68-2, U.S. Army Engineering Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss. 1968.
- Kato, J. Hagino, S. and Uekita, J. (1966), Damping Effect of Floating Breakwater to which Anti-Rolling System is Applied.
Proc. Tenth Coastal Engineering Conference, Vol. II, pp. 1068-1078, 1966.
- Lin, P.L.F. and Abbaspour, M. (1982), Wave Scattering by a Rigid Thin Barrier.
J. Waterway Port Coastal and Ocean Division, Proc. ASCE, 108, WW4, pp. 479-491, Nov. 1982.
- Longuet-Higgins, M.S. and Stewart, R.W. (1964), Radiation Stresses in Water Waves; a Physical Discussion, with Applications.
Deep-Sea Res. 11, 1964, pp. 529-562.
- Macagno, E.O. (1956), Houle Dams un Canal Présetant un Passage en Charge.
Doctoraal scriptie gepresenteerd aan de Faculteit van Wetenschappen, Universiteit van Grenoble, 1956.
- Massie, W.W. (1978), Coastal Engineering.
Vol. II, Harbour and Beach Problems, Vakgroep Kustwaterbouwkunde, Afd. Civiele Techn. TH Delft.
- Milne Dick, T. en Brebner, A. (1968), Solid en Permeabel Submerged Breakwaters.
Proc. Eleventh Coastal Engineering Conference, Vol. II, pp. 1141-1158.
- Neu, R.E., Richey, E.P. (1972), Wave Transmission Tests on Floating Breakwaters for Oah Harbour.
University of Washington, Charles W. Harris, Hydraulic Laboratory, Port Hueneme, California, Technical Report 127, 28 April 1961
- Ofuya, A.O. (1968), On floating breakwaters.
Thesis, Queens University at Kingston Ontario, Canada
Civil Engineering Report, No. 60, 1968.
- Ouellet, Y. and Morin, Y. (1975), Effect of Structures on Irregular Waves Compared to Regular Waves.
J. Waterways, Harbours and Coastal Engineering Division, Proc. ASCE, 101, WW3, pp. 231-246.
- Prager, L.H. (1981), Semi-Permeabel Golfbreker.
Afstudeerverslag, TH Delft, Afd. Civiele Techniek, Vakgroep Kustwaterbouwk. 1981.
- Raichlen, F. and Lee, J.J. (1978)? Inclined-Plate Wave Generator.
Proc. Sixteenth Coastal Engineering Conference, Vol I, pp. 388-399.
- Richey, E.P. and Neu, R.E. (1974), Floating Breakwaters - State of the Art.
Proc. of Floating Breakwaters Conference, Newport, Rhode Island, 1974.
- Savaragi, T., Iwata, K. et Pena, J.C. (1976), Transmission et réflexion de la houle par une dique formée de planches verticale.
La Houille Blanche, No. 8, pp. 625-637, 1976.
- Şedie, U., Transmission of Water Waves Part Horizontal Plates.
Pl. D. Dissertation, Lehigh University, Bethlehem, Pa., 1973.
- Şendie, U. and Graf, W.H. (1974), Transmission of Regular Waves Part Floating Plates.
Proc. Fourteenth Coastal Engineering Conference, Vol III, pp. 1924-1936, 1974.
- Sethness, Jr. E.D., Moore, W.L. and Sabathier, D. (1974), The Performance of an Offset Breakwater Configuration in Windgenerated Waves.
Proc. of Floating Breakwaters Conference, pp. 73-90, Rhode Island.

- Steiner, R.B. and Sollitt, C.K. (1978), Non-Conservative Wave Interaction with Fixed Semi-Immersed Rectangular Structures.
Proc. Sixteenth Coastal Engineering Conference, Vol. III, pp. 2209-2227, 1978.
- Stiassnie, M. (1980), A Simple Mathematical Model of a Floating Breakwater.
Applied Ocean Research, Vol. I, No. 3, July 1980, pp. 107-111.
- Stoker, J.J. (1966), Water Waves.
Interscience Publishers, New York.
- Sutko, A.A. and Haden, E.L. (1974). The Effect of Surge, Heave and Pitch on the Performance of a Floating Breakwater.
Proc. of Floating Breakwaters Conference, pp. 41-53, Rhode Island, 1974.
- Takano, K. (1960), Effects d'un Obstacle Parallélépipedique sur la Propagation de la Houlle.
La Houille Blanche, No. 3, pp. 247-267, 1960.
- Tanaka, S. (1966), Researches on Double Curtain Wall Breakwater
Proc. Tenth Coastal Engineering Conference, Vol. II, pp. 913-931, 1966.
- Troetberg, A. (1968), The Effect of Wave Crests on Wave Forces.
Proc. of the Eleventh Conference on Coastal Engineering, pp. 934-939, Sept. 1968.
- Ursell, F. (1947), The Effect of a Fixed Vertical Barrier on Surface Waves in Deep Water.
Proc. Cambridge Phil. Soc., Vol. 43, Part 3, pp. 374-382, Juli 1947.
- Ursell, F. (1948), Surface Waves on Deep Water in the Presence of a Submerged Circular Cilinder.
Proc. Cambridge Phil. Soc., Vol. 44, pp. 483-491, 1948.
- Vroon, J.H. (1984), Golfscherm in de Heliushaven.
Afstudeerrapport, TH Delft, Afd. Civiele Techniek, Vakgroep Kustwaterbouwk. 1984.
- Vughts, J.H. (1968), The Hydrodynamic Coëfficiënts for Swaying, Heaving and Rolling Cylinders in a Free Surface.
International Shipbuilding Progress, Vol. 15, pp. 251-276, 1968.
- Wetzel, J.M. (1955), Experimental Studies of Pneumatic and Hydraulic Breakwaters.
St. Anthony Falls Hydraulic Laboratory, University of Minnesota, Report no. 46, May 1955.
- Wiegel, R.L. (1960), Transmission of Waves Part a Rigid Vertical Thin Barrier.
J. Waterways Harbour Div. Proc. ASCE, 86, WW1 Paper 2413, March 1960.
- Wiegel, R.L. (1964), Oceanographical Engineering.
Prentice Hall, Inc. London, 1964.
- Ahrens, J.P. (1984), Reef Type Breakwaters.
Proc. Nineteenth Coastal Engineering Conference, Houston.